

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА»

На правах рукописи

**Егорова Виктория Викторовна**

**Оптимизационное моделирование параметров системы заказов  
производственных ресурсов машиностроительного предприятия**

специальность: 08.00.13 «Математические и инструментальные  
методы экономики»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Научный руководитель  
**Гераськин Михаил Иванович,**  
доктор экономических наук, профессор

Самара – 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
Глава 1. «Обоснование проблемы оптимизации управления параметрами заказа на основе экономико-математического моделирования» .....	12
1.1 Тенденции и перспективы развития предприятий производства подшипников в России 2016 .....	12
1.2 Анализ процессов управления производственно-финансовыми циклами на предприятиях производства подшипников Самарской области .....	23
1.3. Анализ современного состояния моделирования процессов управления производственным и финансовым циклами предприятия.....	31
1.4. Выводы к главе 1 .....	57
Глава 2. «Модели и механизмы оптимизации планирования ресурсных заказов на предприятиях» .....	60
2.1. Статическая модель оптимизации производственного цикла.....	60
2.2 Механизмы однопериодной оптимизации производственного цикла .....	65
2.2.1 Механизм минимизации издержек.....	65
2.2.2 Механизм минимизации производственного цикла.....	67
2.2.3 Статический механизм комплексной оптимизации .....	70
2.3. Динамическая модель оптимизации производственного цикла .....	71
2.5. Механизм минимизации операционного цикла.....	76
2.6. Механизм максимизации прибыли и комплексной оптимизации .....	80
2.7. Выводы к главе 2.....	83
Глава 3. «Формирование оптимальной производственной программы на основе применения оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов (на примере ООО «Завод приборных подшипников», ОАО «Самарский подшипниковый завод»)».....	86
3.1. Статическое моделирование производственного цикла .....	86
3.2. Динамическое моделирование производственного цикла.....	90
3.3. Моделирование оптимальных механизмов .....	93
3.4. Выводы к главе 3.....	101

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	102
Список цитируемой литературы.....	104
Приложения .....	121

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В последнее десятилетие наметилась тенденция повышения роли машиностроения в структуре производственного сектора российской экономики: удельный вес продукции машиностроения в объеме промышленного производства в 2010-2016 гг. возрос с 18 % до 24%. В структуре объема продаж предприятий производства подшипников машиностроительные предприятия как покупатели составляют 19% в 2016 г. Развитие предприятий машиностроения как основного потребителя продукции подшипников генерирует производный спрос на подшипники, вследствие чего в 2010-2016 гг. рост физических объемов производства достиг 107% по подшипникам качения, 110% по подшипникам скольжения. В стоимостном выражении объем рынка подшипниковой отрасли возрос в 2010-2016 гг. на 19%. Крупнейшие производители подшипниковой отрасли Самарской области ООО «Завод приборных подшипников» и ОАО «Самарский подшипниковый завод» охватывают в 2016 г. 12% объема рынка подшипников РФ.

Таким образом, роль производства подшипников в машиностроении значительна. Особенностью предприятий по производству подшипников является то, что они работают на основе позаказного планирования, поскольку спрос на их продукцию является производным и существенно зависит от колебаний спроса на продукцию конечного потребления. С учетом таких особенностей рынка подшипников, как колебания спроса и цен предприятия оптимизируют издержки, приобретая крупные партии ресурсов. Это приводит к проблеме накопления производственных запасов, неадекватных динамике заказов покупателей продукции, то есть функции запасов от заказов имеют нелинейный характер. В результате ухудшаются динамические характеристики бизнеса, нарастает длительность цикла от момента приобретения ресурсов до момента реализации продукции, и, как следствие, возникают потери прибыли вследствие иммобилизации ресурсов. Причем в силу инерционности серийных производств такие негативные процессы, как снижение оборачиваемости товарно-

материальных запасов и рентабельности активов, имеют нарастающую тенденцию.

Несовершенство существующих моделей оптимального производственного планирования проявляется в неполноте учета взаимосвязей между такими стадиями бизнес-процесса предприятия, как стадии заготовления, производства и реализации продукции. Кроме того, в современных моделях оптимизируется, как правило, только финансовый критерий (прибыль, затраты), и не учитываются временные показатели бизнес-процесса.

В условиях позаказного планирования производства оптимальное распределение ресурсов по стадиям бизнес-процесса позволит повысить прибыль, сократить среднюю длительность производственного и операционного циклов, снизить запасы невостребованной продукции и достичь равномерной загрузки производственных мощностей. Поэтому актуальной представляется задача разработки моделей, учитывающих нелинейную экономическую динамику на всех стадиях бизнес-процесса предприятия (заготовление, производство, реализация продукции), и оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов с позиций комплекса временных и финансовых критериев.

### **Степень разработанности проблемы.**

Современный уровень развития экономико-математического моделирования и оптимизации производственных программ машиностроительных предприятий отражен в работах следующих исследователей. Комплекс исследований по *теоретическим основам моделирования* (Аганбегян А.Г., Багриновский К.А., Бакаев А.А., Волконский В.А., Гранберг А.Г., Гугушвили Г.Е., Дадаян В.С., Замков О.О., Иванилов Ю.П., Кацюба О.А., Клейнер Г.Б., Ларионов А.И., Новоселов А.Л., Попов И.Г., Рабинович М.Г., Сальников Ф.Т., Шапиро Л.Д., Юрченко Т.И., Ashoka Varthanan, Bobalo Y., Cao Y., Denkena B., Dileep M.V., Fechete F., Janeková J., Wang H. и др.) показал целесообразность моделирования производственных предприятий в соответствии со стадиями бизнес-процесса. Однопроцессные модели производственных предприятий формулировались в виде задач *объемно-календарного оперативного планирования* (Балабина О.И.,

Бражников М.А., Валитов Ш.М., Голиков Ю.П., Грибанова Е.Б., Мицель А.А., Панюков А.В., Ружанская Н.В., Раскатова М.И., Савакни М., Чуйкова Ю.С., Alimardani M., Gajpal Y., Wang C.) и не учитывали другие стадии бизнес-процесса фирмы; исследовались модели, учитывающие стадии *заготовления и реализации* (Калюта В.Н., Киселев К.А., Кузнецов Л.А., Муращенко Д.Д., Назаренко С.В., Панюков А.В., Пижурин А.А., Резниченко С.С., Селезнева Д.А., Телегин В.А., Ткач В.Р., Толысбаев Б.С., Федорин В.Ю., Черных М.В., Baumann P., Gansterer M., Sivashankari C.K. и др.); рассматривались модели *стадий заготовления и производства* (Григорьев В.П., Ежов Г.П., Ефимова П.Е., Зубкова Н.В., Парамонов Ф.И., Попов В.В., Cheaitou A., Hsieh F.-S., Vijayashree M.); исследовались *модели управления запасами* (Балабина О.И., Валитов Ш.М., Голиков Ю.П., Грибанова Е.Б., Мицель А.А., Раскатова М.И., Савакни М., Aliyev R., Berling P., Mishra U.A.), не учитывающие нелинейную динамику экономических процессов. Многопроцессные модели оптимизации производственных программ формулировались в виде многокритериальных задач (Бабенко В.А., Виноградова Е.Ю., Вожаков А.В., Гитман М.Б., Кононенко В.Н., Мироненко И.Л., Просвиркин Н.Ю., Федорин В.Ю., Шориков А.Ф., Tajbakhsh A., Zhong, R.Y.), в которых не учитывался временной критерий бизнес-процесса.

**Объектом исследования** являются машиностроительные предприятия серийного и крупносерийного производства подшипников.

**Предметом исследования** являются социально-экономические процессы, протекающие в экономической системе функционирования оборотного капитала машиностроительного предприятия.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования - обеспечить максимизацию прибыли и минимизацию производственного и операционного циклов на основе разработки экономико-математической модели оптимизации заказов производственных ресурсов машиностроительного предприятия.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработать статическую модель оптимизации бизнес-процесса по критериям прибыли, производственного и операционного циклов на основе теоретического анализа методов моделирования производственных запасов;

2. Сформировать оптимальные механизмы планирования заказов ресурсов для реализации производственной программы по критериям времени и прибыли;

3. Разработать динамическую модель оптимизации производственного процесса по финансовым и временным критериям.

**Теоретической и методологической основой** диссертационной работы являются фундаментальные и прикладные исследования зарубежных и отечественных ученых по проблемам оптимального производственного планирования, теории оптимального управления и активных систем с применением методов корреляционно-регрессионного анализа.

**Методы исследования:** методы анализа и синтеза, системный подход, экономико-математическое моделирование, теория оптимального управления, корреляционно-регрессионный анализ, методы теории активных систем.

**Информационной базой исследования** послужили данные Федеральной службы государственной статистики; данные сайта Минпромторга РФ; данные сайта Правительства РФ; материалы сайтов ООО «Завод приборных подшипников», ОАО «Самарский подшипниковый завод».

**Научные результаты, полученные лично автором, и их новизна:**

1. Разработана статическая модель оптимизации бизнес-процесса заказа ресурсов по критериям прибыли и производственного (операционного) циклов, в отличие от существующих однопроцессных моделей позволяющая осуществить планирование закупки сырья с учетом взаимосвязей процессов заготовления, производства и реализации при ограничениях на объемы выпуска продукции и объемы закупаемых партий ресурсов, а также в условиях устойчивых нелинейных трендов цен и основных экономических показателей предприятия, аппроксимированных степенными регрессиями. (П. 1.4 «Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических про-

*цессов 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», главы 1,2 и 3, параграфы 1.2, 2.1, 3.2, стр. 22-30, 58-63, 83-87).*

2. Разработаны оптимальные механизмы планирования заказов ресурсов для реализации производственной программы с позиций комплекса временных и финансовых критериев оптимальности, учитывающие в отличие от существующих скалярных однопроцессных механизмов наличие устойчивых взаимосвязей между трендами различных подпроцессов бизнес-процесса предприятия и позволяющие сократить длительность производственного и операционного циклов, максимизируя прибыль предприятия. (П. 2.3. *«Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях», глава 2, параграфы 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, стр. 63-68, 72-82).*

3. Разработана динамическая модель оптимизации производственного процесса, позволяющая в отличие от существующих однопроцессных моделей путем последовательной оптимизации по подпериодам планового периода сформировать программу заготовления материалов, отпуска материалов и выпуска продукции, охватывающая все стадии бизнес-процесса машиностроительного предприятия, учитывающая ограничения, связанные с неритмичностью заказов покупателей в течение планового периода, сформированная на основе степенных регрессий, и (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», главы 1, 2 и 3, параграфы 1.3, 2.3, 3.2, стр. 30-57, 69-72, 87-90).*

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в развитии методов экономико-математического моделирования систем управления машиностро-

тельными производствами на основе оптимизации размера заказов производственных ресурсов, что повышает эффективность хозяйственной деятельности предприятий реального сектора экономики России за счет сокращения длительности бизнес-процессов и максимизации прибыли.

**Практическая значимость исследования** состоит в возможности применения результатов на машиностроительных предприятиях серийного и крупносерийного производства в условиях позаказного планирования для определения объемов закупок ресурсов, оптимизирующих длительность производственного цикла и максимизирующих прибыль. Результаты исследований были внедрены в ООО «Завод приборных подшипников», вследствие чего проведено сокращение производственного цикла на 112 дней, общий экономический эффект от иммобилизации оборотного капитала составил 5,8 млн. руб.

**Обоснованность научных результатов и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность подходов и выводов подтверждается широким использованием средств и методов сбора и анализа информации, корректным теоретическим и экономико-математическим обоснованием приведенных утверждений. Все результаты подтверждены исследованиями, проведенными с использованием реальных данных машиностроительных предприятий и внедренных в практику, соответствуют теоретическим положениям экономической науки.

**Апробация результатов исследования.**

Основные положения и выводы диссертации были представлены на следующих **конференциях**: II Международная научно-методическая конференция «Управление большими системами» (г. Пенза, Приволжский Дом знаний, 2010); XII Международная научно-методическая конференция «Современный российский менеджмент: состояние, проблемы, развитие» (г. Пенза, Приволжский Дом знаний, 2010); VI Международная научно-практическая конференция «Современный менеджмент: проблемы и перспективы» (СПб, СПбГИЭУ, 2011); V Международная научно-методическая конференция «Актуальные проблемы социально-экономического развития: территориальные и отраслевые ас-

пекты» (г. Тольятти, Волжский университет им. В.Н. Татищева, 2011); VI Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы организаций в России» (г. Самара, СГАУ им. С.П. Королева, 2012); VII Международная научно-практическая конференция «Менеджмент качества и устойчивое развитие» (г. Саранск, ИМУ, 2011); XI Международная научно-практическая конференция «Современные сложные системы управления ИТС2014» (г. Воронеж, Издательство Воронежского ГАСУ, 2014 г.); Международная молодежная научная конференция «XIII Королевские чтения» (г. Самара, СГАУ им. С.П. Королева, 2015)

### **Публикации.**

По теме диссертации опубликована 21 работа, общим объемом 10,35 п.л., из них лично автора – 7,17 п.л. Основные теоретические и прикладные результаты диссертации опубликованы в разделах 2 коллективных монографий (из них лично автора – 1,43 п.л.), в статьях в научных периодических изданиях (в том числе, в 5 изданиях, рекомендованных ВАК), в сборниках и материалах конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 123 страницах машинописного текста, состоит из введения, трех глав, заключения, иллюстрирована 12 таблицами и 19 рисунками. Библиографический список содержит 136 наименований литературных источников, в том числе 133 отечественных, 22 зарубежных.

Во введении обоснована актуальность проведенного исследования, сформулирована научная новизна, приведены цель и задачи исследования, перечислены наиболее существенные результаты, дана общая характеристика диссертационной работы.

В **первой главе** «Обоснование проблемы оптимизации управления параметрами заказа на основе экономико-математического моделирования» исследованы однопроцессные и многопроцессные модели оптимизации производственных программ предприятий, рассмотрена проблема оптимального управ-

ления на предприятиях подшипниковой отрасли, а также проведен анализ существующих методов математического моделирования бизнес-процессов.

Во **второй главе** «Модели и механизмы оптимизации планирования ресурсных заказов на предприятиях» решается проблема планирования оптимальных заказов ресурсов производственных предприятий, разработаны модели оптимизации заказов производственных ресурсов по критериям прибыли, а также производственного и операционного циклов при монотонно возрастающих трендах параметров издержек, выручки и денежного потока с учетом ценовых и технологических ограничений, сформированы аналитические механизмы оптимального планирования заказов.

Во **третьей главе** «Формирование оптимальной производственной программы на основе применения оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов (на примере ООО «Завод приборных подшипников», ОАО «Самарский подшипниковый завод»)» проведено моделирование оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов, показавшее сокращение длительности циклов, уменьшение размера производственных запасов, что выразилось в сокращении иммобилизованных ресурсов.

В **заключении** приведены основные выводы, оценено практическое значение и даны рекомендации по дальнейшему развитию разработанных в диссертационной работе методик и моделей.

## **Глава 1. «Обоснование проблемы оптимизации управления параметрами заказа на основе экономико-математического моделирования»**

Важным количественным показателем циклической динамики машиностроительного производства является длительность производственного цикла, характеризующая период полного оборота материальных элементов оборотных активов, необходимых для обслуживания производственного процесса, начиная с момента поступления сырья, материалов и полуфабрикатов на предприятие и заканчивая моментом отгрузки изготовленной из них готовой продукции покупателям. Для предприятий производства подшипников актуальной является проблема исследования и оптимизации цикла за счет варьирования системы управления заказами товарно-материальных ценностей (ТМЦ) с учетом практически важных ограничений бюджетов различных уровней, а также технологических ограничений.

### **1.1 Тенденции и перспективы развития предприятий производства подшипников в России 2016**

Промышленное производство является детерминантом экономического роста экономики России, определяя индустриальный тип хозяйственной системы страны, поскольку в 2008-2016 гг. структурная доля этого показателя в валовом внутреннем продукте (ВВП) составляла около 63%, сокращаясь только в период кризиса 2009-2011 гг. до 80-95% [70]. Следовательно, динамика промышленного производства предопределяет тенденции ВВП, и, как видно из рис. 1.1, тесно коррелирует с темпами изменения производства машин и оборудования: фаза замедления роста в 2011-2015 гг. усугубилась кризисом в 2010 г.,

затем индексы восстановили докризисные значения и вновь в 2015-2016 гг. продолжилась тенденция рецессии.

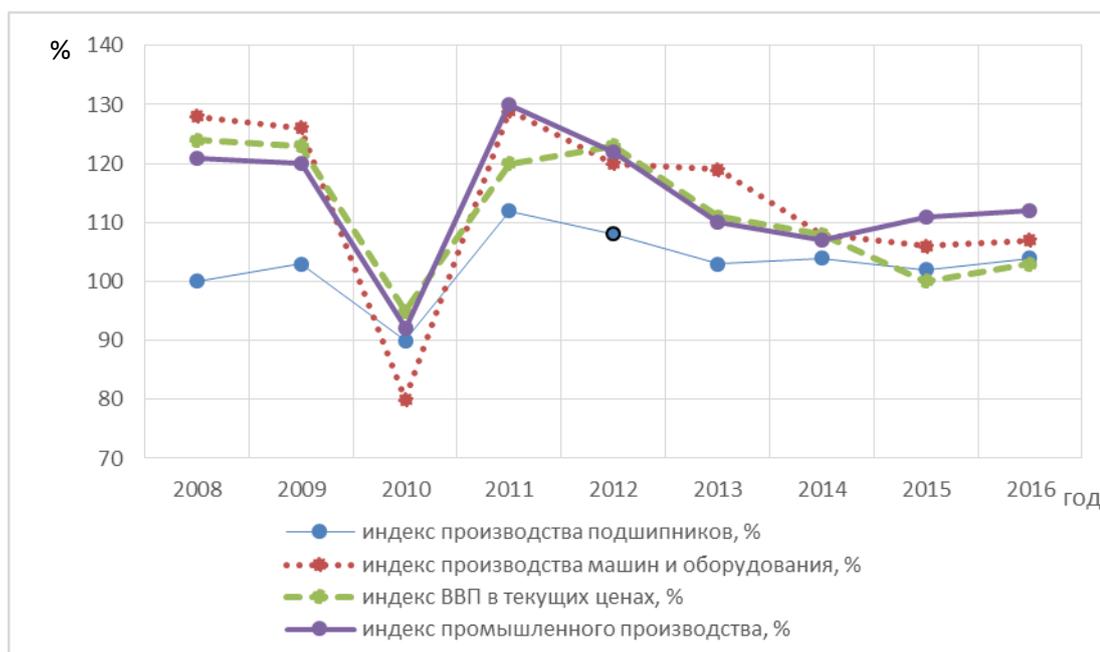


Рисунок 1.1 – Динамика промышленных компонентов ВВП России в 2008 –2016 гг. [70]

Производство подшипников взаимосвязано с машиностроением и следует общему тренду- в течение рассматриваемого периода демонстрирует менее резкие колебания: в периоды замедления экономического роста 2008-2009 гг. и рецессии 2010-2014 гг. темпы роста отрасли производства машин и оборудования были ниже индексов других компонентов, но в 2010 г. спад в отрасли компенсировал более глубокое падение производства машин и оборудования [40,73]. Динамика производства подшипников качения и скольжения представлена на рис. 1.2

По итогам 2016 года наиболее значительный рост ожидается в сфере производства машиностроительной продукции (115,4%) [37], что обусловлено ростом спроса в отраслях-потребителях (нефтегазовая промышленность, энергетика, строительство).

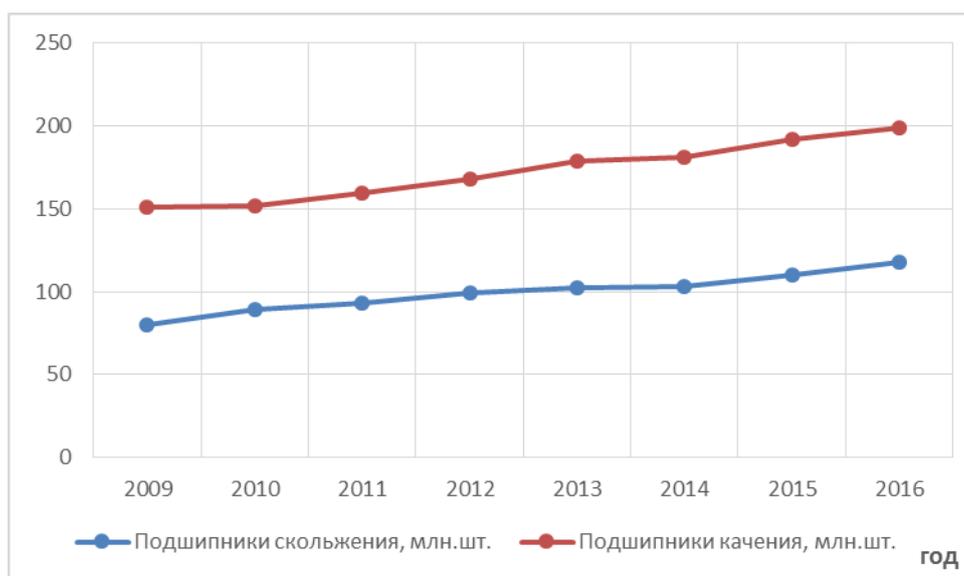


Рисунок 1.2 – Динамика производства подшипников в РФ в 2009 – 2016 гг., млн. шт. [70]

Основные потребители предприятий производства подшипников отмечены ниже (рис. 1.3). Из рисунка видно, что ключевыми потребителями являются предприятия военно-промышленного комплекса, медицинской отрасли, электроэнергетики, нефтепереработки и машиностроения. Области применения подшипников для ВПК - авиация, космос, ракетостроение, танкостроение, системы навигации, оптико-механические устройства, комплексы наведения и управления военного и гражданского назначения. Для данной сферы подшипники изготавливаются, согласно техническим условиям, из различных марок стали и сплавов [9], в том числе из немагнитных, высокотемпературных и т.д. Подшипники специального назначения используются во вращающихся элементах самолетов, вертолетов, ракет, подводных лодок, кораблей, танков, в газотурбинных установках.



Рисунок 1.3 - Основные потребители подшипниковой промышленности

В *медицинской отрасли* подшипники производятся на заказ для медицинского оборудования, включая кардиооборудование, анализаторы крови, диагностическое и лазерное оборудование [42,105]. Также, миниатюрные подшипники применяются для высокоскоростных стоматологических наконечников, со скоростью вращения до 400000 об/мин., для угловых, прямых наконечников и микромоторов со скоростью вращения до 40000 об/мин. В *электроэнергетике* подшипники применяются для изготовления и ремонта генераторов, редукторов, компрессоров, турбин, электродвигателей, электроинструментов и насосов. В *автомобильной промышленности* подшипники применяются для выпуска и ремонта стеклоподъемников, гидроусилителя руля, стартера, датчиков регулировки холостого хода, вентилятора охлаждения двигателя и прочих элементов. В *нефтеперерабатывающей промышленности* подшипники применяются для производства турбобуров для бурения нефтяных скважин. Также подшипники потребляются такими отраслями, как *черная металлургия* (при переработке минерального сырья или металлолома в сталь), *целлюлозно-бумажная промышленность* (для крупногабаритных машин, перерабатывающих деревянную волокнистую массу в белую бумагу), *горнодобывающая промышленность* (для конвейеров в зоне карьера).

Количественные маркетинговые исследования РА «Эксперт-Рейтинг» [86] позволили рассчитать структуру отраслевого потребления подшипников в 2015-2016 году (табл. 1.1).

Таблица 1.1 - Отраслевые потребители подшипников в России

Рынки сбыта	Доля рынка в 2015г, %	Доля рынка в 2016г, %
Автомобильные заводы	23	25
Электротехническая промышленность	19	16
Нефтяные компании	11	10
Металлургические комбинаты	9	9
Розничные продажи (B2C сегмент)	15	14
Сельхозмашиностроение	6	7
Железнодорожная отрасль	8	10
Прочие потребители	9	9
Всего	100	100

Сегментирование российского рынка подшипников по отраслям потребления представлено на рис. 1.4. За период 2015 – 2016г. значительно увеличилось потребление подшипников автомобильной, железнодорожной и сельскохозяйственной отраслями, что связано с увеличением объема выпуска в данных сферах.

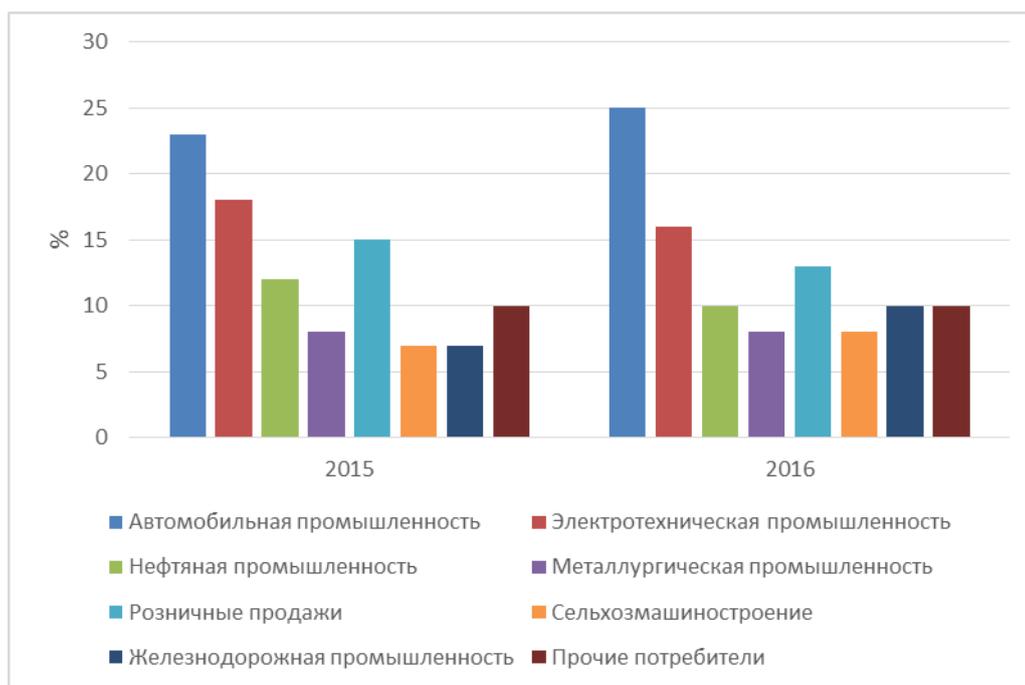


Рисунок 1.4 - Отраслевое потребление подшипников в России в 2015 – 2016 гг.

Из рисунка наглядно видно, что за период 2015-2016г. значительно увеличилось потребление подшипников автомобильной, железнодорожной и сельскохозяйственной отраслями; значительно уменьшилось потребление подшипников электротехнической и нефтяной отраслями.

Рассмотрим крупнейших производителей подшипников в России. В настоящее время существует 21 предприятие по производству подшипников на территории России. Выделим наиболее крупные машиностроительные предприятия РФ по выпуску подшипников. По данным Росстата, Минпромторга и отраслевых компаний [67,70] сегментация по российскому рынку подшипников в I кв. 2016 года выглядела следующим образом (рис. 1.5):

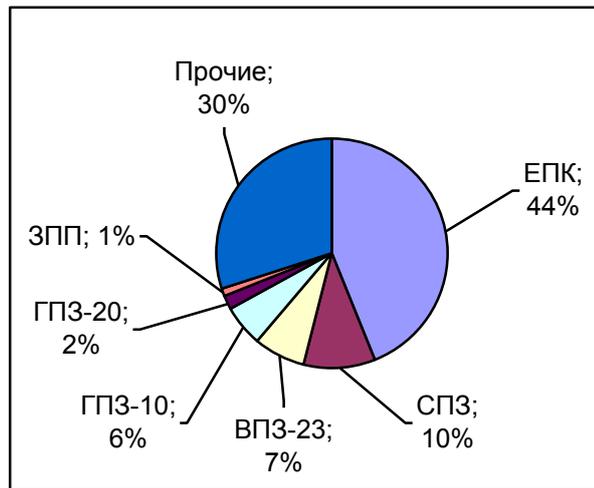


Рисунок 1.5 - Крупнейшие производители подшипников в России

В *Европейскую подшипниковую корпорацию* (ЕПК), доля которой составляет 44% на российском рынке, входят:

- ОАО "Московский подшипник" (ГПЗ-1),
- ОАО "Саратовский подшипниковый завод" (СПЗ-3)
- ОАО "Волжский подшипниковый завод" (ВПЗ-15),
- ОАО "Завод авиационных подшипников",
- ЗАО "Степногорский подшипниковый завод",
- ОАО "Московский завод авиационных подшипников".

В *СПЗ-групп*, доля которого составляет 10%, входят ООО "Самарский подшипниковый завод-4" (СПЗ-4), ОАО "Самарский подшипниковый завод-9" (СПЗ-9). Доля Вологодского подшипникового завода (ВПЗ-23) составляет 7%, Ростовского подшипникового завода (ГПЗ-10) - 6%, Курского подшипникового завода (ГПЗ-20) - 2%, Завода приборных подшипников (ЗПП) - 1%. В прочие производители входят мелкие (менее 1 %) отечественные предприятия, а также зарубежные производители.

Выделим основные регионы-поставщики подшипников (рис. 1.6).

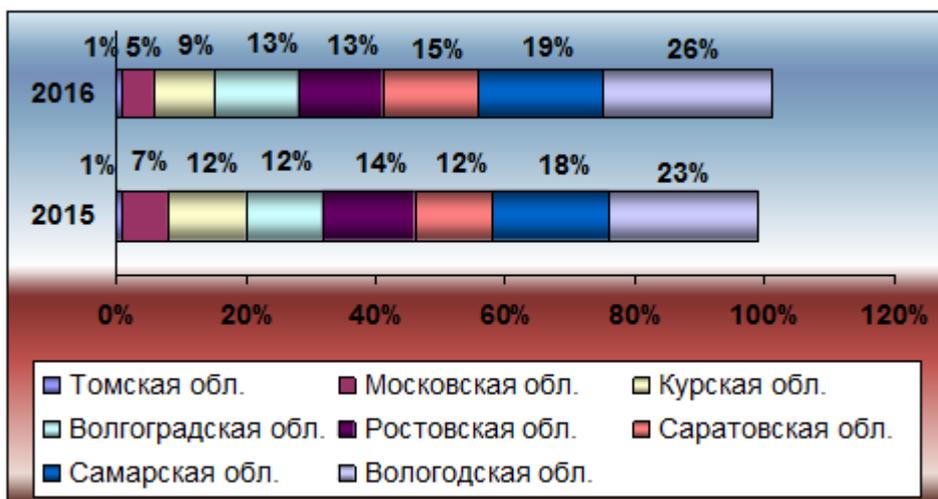


Рисунок 1.6 - Структура распределения объемов производства ведущих российских производителей по регионам за 2015-2016 года.

Из диаграммы видно, что основные объемы производства подшипников сосредоточены на территориях Волгоградской и Самарской областей. Проведем оценку степени монополизации отрасли с помощью индекса Херфиндаля-Хиршмана (ННИ) (табл. 1.2).

Таблица 1.2 - Значения показателей индекса Херфиндаля-Хиршмана для российской подшипниковой отрасли за I кв. 2016гг.

№ п/п	Производители подшипников	Доля продаж, %	ННИ
1	ЕПК	44	
2	СПЗ	10	
3	ВПЗ-23	7	
4	ГПЗ-10	6	
5	ГПЗ-20	2	
6	ЗПП	1	
7	Прочие	30	
<b>Всего</b>		<b>100</b>	<b>3026</b>

По таблице видно, что  $ННИ=3026$ , это означает, что российский рынок производства подшипников относится к рынку I типа - высококонцентрированному рынку, то есть большая часть производимой продукции приходится на долю нескольких крупнейших предприятий. Приведем основные эконо-

мические показатели крупнейших предприятий производства подшипников (ЕПК, СПЗ, ВПЗ-23) за последние 5 лет. Динамика изменения выручки от реализации подшипниковой продукции представлена ниже (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Динамика изменения выручки от реализации подшипниковой продукции за 2012-2016г., млн. руб.

Из рисунка видно, что наибольшую выручку от реализации имеет ЕПК. На втором месте - СПЗ, на третьем - ВПЗ-23. В целом, динамика изменения выручки от реализации подшипниковой продукции отрицательная, что связано с сокращением объема выпуска подшипников.

Динамика изменения себестоимости продукции представлена ниже (рис. 1.8).

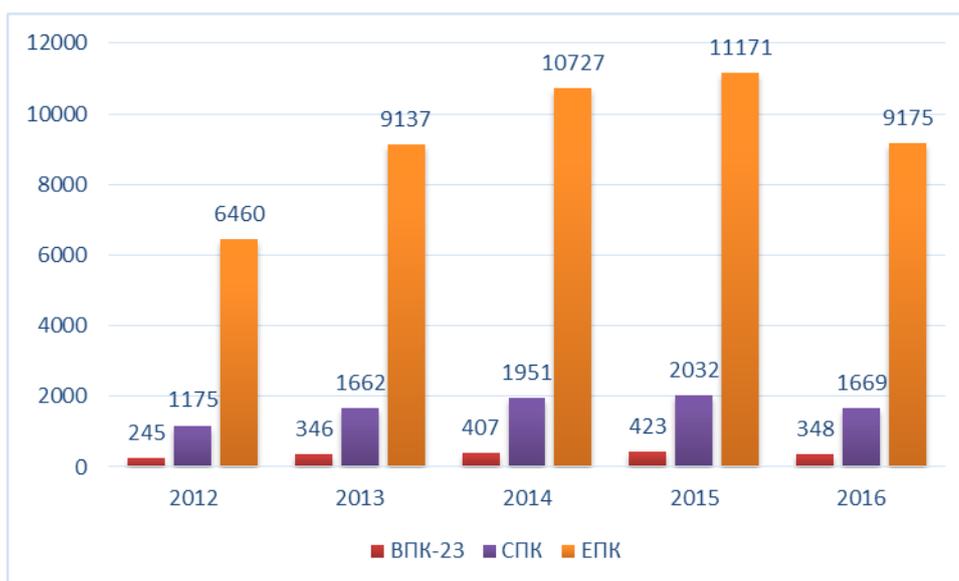


Рисунок 1.8 - Динамика изменения себестоимости от реализации подшипниковой продукции за 2012-2016г., млн. руб.

Основные выводы по рис. 1.8 аналогичны выводам по рис. 1.7. Необходимо отметить, что наблюдается отрицательная динамика изменения себестоимости от реализации подшипниковой продукции.

В результате проведенного анализа предприятий производства подшипников на уровне России необходимо рассмотреть **отечественные предприятия Самары и Самарской области**. Объем производства подшипниковой продукции самарскими предприятиями составляет 18% от общего объема производства по РФ в 2015-2016 г [69]. На территории Самары и области функционирует 5 предприятий:

- ОАО "Завод авиационных подшипников" (входит в состав ЕПК), выпускающий специальные подшипники;
- ОАО "Самарский подшипниковый завод", занимающийся производством конических, цилиндрических и сферических роликовых подшипников;
- ООО "Завод приборных подшипников", выпускающий подшипники малогабаритных размеров и специального назначения;

- ООО "СПЗ-4", выпускающий шариковые малогабаритные подшипники;

- ООО "Средневолжский подшипниковый завод", занимающийся производством и сборкой крупногабаритных шариковых и роликовых подшипников.

В связи с существующими проблемами правительством Самарской области была разработана *Государственная программа "Инновационное развитие машиностроительного комплекса Самарской области до 2020 года"* [69], которая должна обеспечить ускоренное развитие предприятий производства подшипников. Основными направлениями государственной поддержки машиностроительной отрасли (подотрасли производства машин и оборудования) в РФ являются:

- содействие созданию совместных с мировыми концернами предприятий на базе существующих производств;

- проведение жесткой и последовательной антидемпинговой политики в отношении импортной продукции;

- обеспечение преференций российским производителям при поставках для оборонного комплекса и других стратегически важных отраслей промышленности;

- снятие препятствий для дальнейшей консолидации отрасли.

Также, государство развивает систему государственного регулирования отраслей-потребителей подшипников, стимулирует потребительский спрос в отраслях конечного потребления (РЖД, речные и морские перевозки); внедряет государственные инвестиционные проекты в отраслях конечного потребления подшипников (национальный проект «Здоровье»). В целом, несмотря на вышеперечисленные проблемы, тенденции развития отрасли машиностроения положительные. Наблюдается положительная динамика роста производства во всех отраслях-потребителях подшипниковой продукции.

**Таким образом,** роль предприятий производства подшипников в российской экономике является чрезвычайно значимой. Ключевыми потре-

бителями подшипников являются предприятия военно-промышленного комплекса, медицинской отрасли, электроэнергетики, нефтепереработки и машиностроения. В настоящее время на территории России существует 21 предприятие производства подшипников, наиболее крупными из которых являются Европейская подшипниковая компания (доля продаж 44%), Самарский подшипниковый завод (10%), Вологодский подшипниковый завод (7%), Ростовский подшипниковый завод (6%), Курский подшипниковый завод (2%), Завод приборных подшипников (1%). Основные объемы производства подшипников сосредоточены на территориях Волгоградской и Самарской областей. При оценке степени монополизации отрасли с помощью индекса Херфиндаля-Хиршмана было выявлено, что российский рынок производства подшипников является высококонцентрированным. В целом тенденции развития отрасли положительные. Наблюдается положительная динамика роста производства подшипников во всех отраслях-потребителях данной продукции.

## **1.2 Анализ процессов управления производственно-финансовыми циклами на предприятиях производства подшипников Самарской области**

На современном этапе развития экономики накоплен значительный теоретический и практический опыт управления производственным и финансовым (коммерческим) циклами, результаты которого выражаются в трактовке терминов «производственный цикл».

Среди исследователей теории управления коммерческим и производственным циклами обозначилось два основных подхода к определению понятий «производственный цикл»: *в рамках первого подхода* производственный цикл определяет продолжительность нахождения выпускаемых изделий в процессе изготовления от момента запуска исходных материалов в производство до их превращения в готовое изделие [1,20,43,75,82,130] и включает:

$$T_{\text{ИЦ}} = t_{\text{ОСН}} + t_{\text{КОНТР}} + t_{\text{ТРАНСП}} + t_{\text{ПЕР}} , \quad (1.1)$$

где  $t_{осн}$  - время выполнения основных (технологических) операций;  $t_{контр}$  - время выполнения контрольных операций;  $t_{трансп}$  - время выполнения транспортных операций;  $t_{пер}$  - время перерывов.

Это определение можно назвать **«производственным»**, т.к. часто именно в этой трактовке используется работниками завода. Все составляющие элементы производственного цикла рассчитываются исходя из полученных практических результатов [39,64,66].

В рамках **второго подхода** производственный цикл рассматривается как период полного оборота материальных элементов оборотных активов, необходимых для обслуживания производственного процесса [33,47,53,113,123]. Продолжительность производственного цикла предприятия  $T_{ц}$  определяется по следующей формуле:

$$T_{щц} = T_o(ПЗАП) + T_o(НЗП) + T_o(ГП), \quad (1.2)$$

где  $T_o(ПЗАП)$  - средняя продолжительность оборота производственных запасов;  $T_o(НЗП)$  - средняя продолжительность оборота незавершенного производства;  $T_o(ГП)$  - средняя продолжительность оборота готовой продукции.

Это определение можно назвать **«бухгалтерским»**, т.к. для определения расчета величины производственного цикла как правило используется финансовая отчетность предприятия.

Кроме производственного цикла, выделяют также финансовый и операционный циклы, которые различаются в зависимости от типа активов или капитала, оборачиваемость которых влияет на результирующий показатель.

Время от момента приобретения сырья и материалов (комплектующих) до момента поступления денег на счет предприятия от продажи продукции называют **операционным**, или производственно-коммерческим циклом:

$$T_{опц} = T_{щц} + T_o(ДБЗ), \quad (1.3)$$

где  $T_o(ДБЗ)$  - средняя продолжительность оборота дебиторской задолженности.

*Финансовый цикл* представляет собой период оборота денежных средств начиная с момента погашения кредиторской задолженности за приобретенные ТМЦ и заканчивая инкассацией дебиторской задолженности за реализованную продукцию, изготовленную из соответствующих ТМЦ [107]. Расчетная формула для финансового цикла:

$$T_{\text{фц}} = T_{\text{пц}} + T_o(\text{ДБЗ}) - T_o(\text{КДЗ}), \quad (1.4)$$

где  $T_o(\text{КДЗ})$  - средняя продолжительность оборота кредиторской задолженности.

Продолжительность оборота производственных запасов является функцией оборачиваемости производственных запасов

$$K_o(\text{ПЗАП}) = \frac{C}{Z_{\text{ПЗАП}}}, \quad (1.5)$$

$$T_o(\text{ПЗАП}) = \frac{T}{K_o(\text{ПЗАП})}, \quad (1.6)$$

где  $K_o(\text{ПЗАП})$  - коэффициент оборачиваемости производственных запасов;  $C$  - себестоимость продукции за период;  $Z_{\text{ПЗАП}}$  - средняя за период стоимость остатков производственных запасов;  $T$  - продолжительность периода.

Коэффициент оборачиваемости и продолжительность оборота запасов готовой продукции рассчитываются по формулам:

$$K_o(\text{ГП}) = \frac{C}{Z_{\text{ГП}}}, \quad (1.7)$$

$$T_o(\text{ГП}) = \frac{T}{K_o(\text{ГП})}, \quad (1.8)$$

где  $K_o(\text{ГП})$  - коэффициент оборачиваемости готовой продукции;  $Z_{\text{ГП}}$  - средняя за период стоимость остатков готовой продукции.

Коэффициент оборачиваемости незавершенного производства и продолжительность одного оборота рассчитываются по формулам:

$$K_o(\text{НЗП}) = \frac{C}{Z_{\text{НЗП}}}, \quad (1.9)$$

$$T_o(\text{НЗП}) = \frac{T}{K_o(\text{НЗП})}, \quad (1.10)$$

где  $K_0(НЗП)$  - коэффициент оборачиваемости незавершённого производства;  
 $Z_{НЗП}$  - средняя за период стоимость остатков незавершённого производства [114].

Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности и продолжительности одного оборота рассчитываются по формулам:

$$K_o(ДБЗ) = \frac{B}{Z_{ДБЗ}}, \quad (1.11)$$

$$T_o(ДБЗ) = \frac{T}{K_o(ДБЗ)}, \quad (1.12)$$

где  $K_o(ДБЗ)$  - коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности;  
 $B$  - выручка от продажи продукции за период;  $Z_{ДБЗ}$  - средняя за период стоимость остатков дебиторской задолженности.

Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности и продолжительности одного оборота рассчитываются по формулам:

$$K_o(КДЗ) = \frac{B}{Z_{КДЗ}}, \quad (1.13)$$

$$T_o(КДЗ) = \frac{T}{K_o(КДЗ)}, \quad (1.14)$$

где  $K_o(КДЗ)$  - коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности;  
 $Z_{КДЗ}$  - средняя за период стоимость остатков кредиторской задолженности.

Положительной тенденцией развития организации считается [108] *уменьшение продолжительности финансового цикла*, которое можно достичь путем:

- сокращения производственного цикла, включающего сокращение периода оборота запасов, незавершённого производства и готовой продукции;
- уменьшения периода оборота дебиторской задолженности;
- увеличения периода кредиторской задолженности (при этом необходимо контролировать выполнение сроков расчетов, не допуская существенных штрафных санкций) [90,91,92,94].

Согласно данным предыдущего подпункта, к крупнейшим производителям подшипников в России относятся следующие предприятия: СПЗ-групп (с долей 10%), куда входят два самарских предприятия (ООО "Самарский подшипниковый завод-4" (СПЗ-4), ОАО "Самарский подшипниковый завод-9" (СПЗ-9); а также ООО «Завод приборных подшипников» (с долей 1%).

Рассчитаем длительность операционного, производственного и финансового циклов для данных заводов для выявления общих тенденций, для чего определим коэффициенты оборачиваемости производственных запасов, запасов готовой продукции и незавершенного производства, дебиторской и кредиторской задолженности, а также продолжительность одного оборота данных показателей (табл. 1.3, табл. 1.4).

Таблица 1.3 - Показатели оборачиваемости ЗПП

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
Ко(ПЗАП)	3,50	1,98	2,21	2,49	3,66
То(ПЗАП), дни	102,83	182,25	162,99	144,44	98,23
Ко(НЗП)	6,53	2,28	2,22	2,48	3,46
То(НЗП), дни	55,15	157,97	162,28	145,36	104,08
Ко(ГП)	5,12	0,85	0,97	0,95	1,43
То(ГП), дни	70,29	423,18	371,89	380,10	251,43
Ко(ДбЗ)	5,21	0,41	0,37	0,37	5,94
То(ДбЗ), дни	69,09	880,58	963,16	983,17	60,57
Ко(КдЗ)	4,80	0,97	3,74	2,92	4,71
То(КдЗ), дни	74,94	371,99	96,32	123,13	76,36

Таблица 1.4 - Показатели оборачиваемости СПЗ

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
Ко(ПЗАП)	3,69	4,22	5,13	5,68	4,07
То(ПЗАП), дни	97,52	85,40	70,24	63,43	88,49
Ко(НЗП)	6,60	7,83	8,86	8,73	7,50
То(НЗП), дни	54,54	46,00	40,63	41,23	48,02
Ко(ГП)	3,55	3,34	3,39	2,89	1,80
То(ГП), дни	101,37	107,83	106,24	124,59	200,25
Ко(ДбЗ)	1,44	1,26	1,19	1,12	0,93
То(ДбЗ), дни	250,10	286,48	302,13	321,69	386,55
Ко(КдЗ)	8,78	6,33	7,37	4,64	4,98
То(КдЗ), дни	40,99	56,90	48,87	77,58	72,32

Определим и оценим динамику продолжительности производственного, финансового и операционного циклов рассматриваемых предприятий (табл. 1.5, табл. 1.6).

Таблица 1.5– Показатели продолжительности циклов ЗПП

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
Т <sub>пц</sub> ,дни	228	763	697	670	454
Т <sub>опц</sub> ,дни	297	1 644	1 660	1 653	514
Т <sub>фц</sub> ,дни	222	1 272	1 564	1 530	438

Таблица 1.6 – Показатели продолжительности циклов СПЗ

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
Т <sub>пц</sub> ,дни	253	239	217	229	337
Т <sub>опц</sub> ,дни	504	526	519	551	723
Т <sub>фц</sub> ,дни	463	469	470	473	651

Представим динамику продолжительности производственного, финансового и операционного циклов для двух предприятий в виде рисунков (рис. 1.10, рис. 1.11).

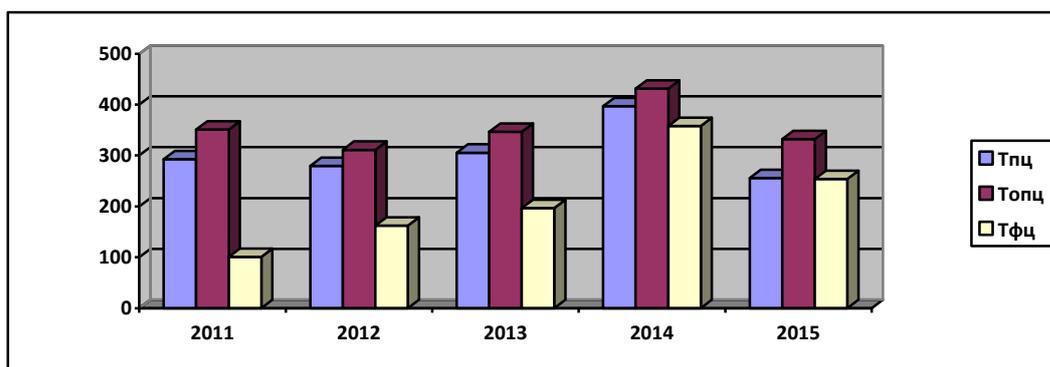


Рисунок 1.10 – Динамика продолжительности циклов ЗПП

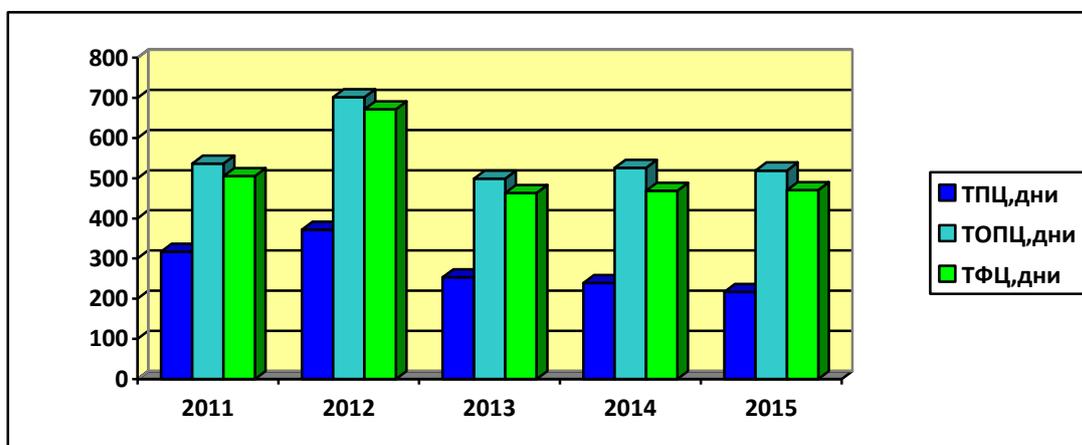


Рисунок 1.11 – Динамика продолжительности циклов СПЗ

По рисунку видно, что продолжительность циклов значительная, имеется тенденция превышения операционного цикла над производственным, что означает задержки в оплате от покупателей за реализованную продукцию. Это может быть связано с отсутствием платежной дисциплины у покупателей, слабой системой внутрифирменного финансового контроля. Данная проблема достаточно специфична для исследуемой отрасли - позаказного производства в условиях олигопсонии. Из-за небольшого числа потребителей и сильной конкуренции предприятия иногда вынуждены принимать платежные условия покупателей и предоставлять отсрочку или рассрочку по оплате. В целом, такая ситуация характерна для многономенклатурного мелкосерийного производства на основе позаказного квартального планирования, при котором повышательная динамика цен на сырье [27] приводит к возникновению значительных остатков ТМЦ. В результате происходит [71,72] замедление оборачиваемости ресурсов и нарастание продолжительности циклов, что приводит к накоплению упущенной прибыли (рис. 1.10-1.11), как потенциальной прибыли, иммобилизованной в остатках ТМЦ.

В связи с этим сокращение сроков изготовления заказов на предприятиях производства подшипников путем оптимизации производственного цикла способствует повышению их экономической эффективности за счет роста оборачиваемости материальных и финансовых ресурсов и повышения ресурсоотдачи, обуславливает сокращение издержек на заготовление и хранение материальных ценностей, предопределяет структурные изменения в системе планирования производства. Оптимизация производственного цикла обеспечивается на основе сбалансированного накопления и расходования ТМЦ на производство и реализацию продукции. При этом следует учитывать противоречивое влияние динамики изменения запасов на экономические показатели предприятия: с одной стороны, превышение запасов над минимально необходимым уровнем приводит к замораживанию оборотного капитала, замедлению его оборачиваемости, росту расходов на хранение, снижению ликвидности баланса; с другой сторо-

ны, недостаток производственных запасов ограничивает расширение производства вследствие повышения чувствительности финансовых результатов к росту цен на сырье и усилению риска возникновения простоев [11,15,19,41,48,56,57,60,61,65].

Следовательно, для предприятий производства подшипников актуальной является проблема оптимизации производственных циклов за счет варьирования системы управления заказами ТМЦ.

Проанализируем факторы, влияющие на продолжительность циклов, с помощью факторного анализа. Определим значимость каждого показателя в структуре ОПЦ (табл. 1.7, табл. 1.8).

Таблица 1.7 – Структура операционного цикла ЗПП

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
То(ПЗАП), дни	33,46	38,98	35,68	37,40	30,97
То(НЗП), дни	15,61	17,91	14,38	16,11	16,61
То(ГП), дни	34,30	32,96	38,09	38,42	29,48
То(ДБЗ), дни	16,63	10,15	11,86	8,07	22,93
Топц, дни	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 1.8 – Структура операционного цикла СПЗ

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015
То(ПЗАП), дни	23,82	17,57	19,53	16,24	13,53
То(НЗП), дни	7,82	9,35	10,93	8,75	7,82
То(ГП), дни	27,45	26,09	20,31	20,51	20,46
То(ДБЗ), дни	40,91	46,99	49,23	54,49	58,19
Топц, дни	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

По таблице видно, что все показатели вносят существенный вклад в формирование операционного цикла, поэтому всех их необходимо исследовать.

В целом, при сопоставительном анализе двух предприятий были выявлены следующие тенденции:

- показатели оборачиваемости производственных запасов, незавершенного производства, готовой продукции, дебиторской задолженности носят колебательный характер;

- имеются сильные относительные отклонения показателей по отношению к предшествующему году, и они носят как положительный, так и отрицательный характер;

- значительная продолжительность производственного, операционного, финансового циклов;

- все показатели, составляющие операционный цикл, вносят существенный вклад в его формирование.

### **1.3. Анализ современного состояния моделирования процессов управления производственным и финансовым циклами предприятия**

В современных условиях хозяйствования для отечественных машиностроительных предприятий важнейшей задачей является *повышение эффективности управления* на всех его уровнях. В особенности данное утверждение относится к качеству управления непосредственно производственной деятельностью, так как именно производственный процесс является основой формирования системы управления предприятием. Моделирование процессов управления производственными и финансовыми циклами является чрезвычайно сложной как с экономической, так и с математической точек зрения задачей. В настоящее время она недостаточно разработана, поэтому актуальной является задача изучения конкретных, частных моделей, позволяющих углубленно исследовать отдельные аспекты финансового состояния предприятия [78, 98,99,101,106].

Существуют различные трактовки понятия «*модели*». По Ляпунову А.А., моделирование - это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель): находящаяся в некотором объективном соответ-

ствии с познаваемым объектом; способная замещать его в определенных отношениях; дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте [80]. По Советову Б. Я., *модель* - это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала [108]. По Багриновскому К. А., *модель* – это условный образ реального объекта, который создается для более глубокого изучения действительности [4].

Единой системы *классификации моделей* в настоящее время не существует, однако в трудах Багриновского К. А., Клейнера Г. Б., Аганбегяна А. Г., Гранберга А. Г., Ларионова А. И., Юрченко Т. И., Новоселова А. Л., Сальникова Ф.Т., Попова И. Г., Иванилова Ю. П., Дадаева В. С., Шапиро Л. Д., Бакаева А. А., Замкова О. О., Гугушвили Г. Е., Кацюба О. А., Волконского В. А., Рабиновича М. Г. выделяют более десяти основных признаков их классификации [1, 4, 5, 22, 31, 32, 35, 38, 44, 45, 46, 52, 97, 128]. Рассмотрим некоторые из них.

*По общему целевому назначению* модели делятся на теоретико-аналитические, используемые при изучении общих свойств и закономерностей экономических процессов, и прикладные, применяемые в решении конкретных экономических задач анализа, прогнозирования и управления.

*По степени агрегирования объектов* модели разделяются на макроэкономические, отражающие функционирование экономики как единого целого, и микроэкономические, рассматривающие предприятия и фирмы.

*По цели создания* и применения выделяют трендовые модели, в которых развитие моделируемой экономической системы отражается через тренд (длительную тенденцию) ее основных показателей; имитационные модели, предназначенные для использования в процессе машинной имитации изучаемых систем или процессов.

*По учету фактора времени* модели подразделяются на статические, в которых вне зависимости отнесены к одному моменту времени, и динамические, описывающие экономические системы в развитии.

*По учету фактора неопределенности* модели подразделяются на детерминированные, если в них результаты на выходе однозначно определяются управляющими воздействиями, и стохастические (вероятностные), если при задании на входе модели определенной совокупности значений на ее выходе могут получаться различные результаты в зависимости от действия случайного фактора.

*По типу информации*, используемой в модели, выделяют аналитические модели, построенные на априорной информации, и идентифицируемые, построенные на апостериорной информации.

*По типу математического аппарата* могут быть выделены матричные модели, модели линейного и нелинейного программирования, корреляционно-регрессионные модели, модели теории массового обслуживания, модели сетевого планирования, модели теории игр.

*По типу подхода* к изучаемым системам выделяют дескриптивные и нормативные модели. При дескриптивном (описательном) подходе получают модели, предназначенные для описания и объяснения фактически наблюдаемых явлений и для прогноза этих явлений. При нормативном подходе определяется, как должна быть устроена модель и как она должна действовать в смысле определенных критериев [119].

*По анализу влияния отдельных факторов* выделяют аддитивные, мультипликативные, кратные и смешанные модели. Аддитивные модели могут быть определены как алгебраическая сумма отдельных показателей. Мультипликативные модели могут быть определены как произведение отдельных факторов. Кратные модели — это соотношение отдельных факторов. Смешанные модели — это сочетание уже рассмотренных нами видов моделей.

По количеству критериев оптимальности выделяют скалярные и векторные модели. Компонентами векторной оптимизации являются несводимые друг к другу скалярные критерии оптимальности подсистем, входящих в данную систему.

Таким образом, в настоящее время не существует единой системы классификации моделей, выделяют различные классификационные признаки [112,116,117,120,124,125,126,129,132]. Нами была усовершенствована классификация с учетом использования моделей в системах управления предприятиями производства подшипников, предложенная классификация по количеству учитываемых этапов бизнес процесса фирмы на микроуровне. Данная классификация расшифровывает микроэкономические модели (рис. 1.12).

*По типу воздействия* выделяют модели терминального и оптимального управления. При терминальном моделировании критерий оптимизации должен стремиться к запланированному значению, которое может быть не связано с обобщающими показателями эффективности работы предприятия, а может, наоборот, негативно влиять на обобщающий показатель. При оптимальном моделировании улучшается обобщающий показатель эффективности работы предприятия через оптимизацию частных критериев.

*По количеству рассмотренных в модели этапов* выделяют однопроцессные и многопроцессные модели. В многопроцессных моделях рассматривается несколько этапов изготовления продукции (заготовительный этап, процесс производства, продажа продукции). В однопроцессных моделях учитывается один этап производственно-сбытового процесса. Подобная классификация была предложена Бабенко В.А. [3]. Основное отличие классификаций заключается в области их применения.

Классификация, предложенная Бабенко, применяется для предприятий АПК, имеющих свою специфику. В многопроцессных моделях АПК рассматриваются различные этапы производства, в зависимости от сферы агробизнеса:

- производство и снабжение сельского хозяйства материально-техническими средствами и услугами (техника, удобрения, стройматериалы и т.д.);



Рисунок 1.12 – Виды экономико-математических моделей по различным классификационным признакам

- производство сельскохозяйственной продукции, т.е. собственно сельское хозяйство (растениеводство и животноводство);

- хранение, транспортировка и переработка с/х продукции в готовые для потребления товары, оптовая и розничная торговля продуктами питания и другими товарами, изготовленными из с/х сырья.

Во всех этих сферах по-разному организован производственный процесс и выделены различные этапы изготовления продукции / оказания услуг. Наша классификация же ориентирована на предприятия машиностроительного комплекса, которые имеют свою специфику. Такое деление целесообразно и значимо для машиностроения и для предприятий производства подшипников в частности, поскольку позволяет оптимизировать производственный, операционный и финансовый циклы, тем самым сократить остатки производственных запасов, НЗП и ГП, уменьшить размер дебиторской задолженности, что окажет положительное влияние на работу всего предприятия, позволит усовершенствовать систему управления производством в целом [76,77,79,81,84,98,99,101].

Развитие идей Багриновского К. А., Клейнера Г. Б., Аганбегяна А. Г., Гранберга А. Г., Ларионова А. И., Юрченко Т. И., Новоселова А. Л., Сальникова Ф.Т., Попова И. Г., Дадаева В. С. получило в современных моделях оптимизации производственно-финансового цикла предприятия. Рассмотрим *процессные модели* оптимизации деятельности предприятия:

1) *модель производственного процесса переработки сырья* [115, 136] рассматривает подпроцессы заготовки сырья и складирования готовой продукции. В обобщенном виде модель имеет вид:

$$\Pi = \sum_1^T (\sum_{i \in I} V_{ГП}^i \cdot P_{ГП}^i - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} V_C \cdot P_C^i - \sum_{i \in I} V_C^{OCT} \cdot \tau_C^{XP} \cdot c^{XP} - \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} tr \cdot P_{tr}) \rightarrow \max, \quad (1.15)$$

где  $\Pi$  – прибыль;  $T$  – номер месяца в плановом периоде;  $i$  - индекс вида ассортимента сырья, готовой продукции;  $j$  - индекс поставщика сырья;  $l$  - индекс вида транспортного средства;  $V_{ГП}$  – объем выпуска готовой продукции,  $P_{ГП}^i$  – цена готовой продукции  $i$ -го ассортимента,  $V_C$  – объем поставок сырья,

$P_C^i$  – цена сырья  $i$ -го ассортимента;  $V_C^{OCT}$  – объем остатков сырья на складе,  $\tau_C^{XP}$  – срок хранения сырья,  $t_r$  – количество единиц транспортных средств;  $c^{XP}$  – стоимость хранения сырья;  $P_{tr}$  – цена аренды единицы транспорта

Критерием эффективности является максимизация прибыли за счет варьирования таких параметров управления, как объем поставок сырья и объем выпуска продукции. Предполагается, что перевозка сырья осуществляется транспортными средствами сторонней организации, а затраты на перевозку определяются на основе тарифов. Данная модель содержит ряд ограничений: превышение складских остатков запасов сырья над суммарным объемом доставляемых от поставщиков запасов сырья, наличие заданного уровня страховых запасов для каждого вида сырья на складе, ограничения на емкость склада, сроки хранения сырья, условия перевозки сырья от поставщиков.

Выбранный критерий напрямую не связан с циклами, но параметры управления (производственные запасы, готовая продукция) влияют на продолжительность производственного цикла. Недостатком модели является то, что в ней не учитываются показатели незавершенного производства (НЗП), дебиторской и кредиторской задолженностей.

2) *динамическая модель финансово-хозяйственной деятельности* [50, 139] рассматривает подпроцессы заготовки сырья и складирования готовой продукции. В обобщенном виде модель имеет вид

$$\Pi = P \cdot (b - b^-) - \sum_r Z_r - Z_{СКЛ} - Z_{НД} \rightarrow \max, \quad (1.16)$$

где  $P$  – цена продукции;  $b$  – спрос на продукцию;  $b^-$  – неудовлетворенный спрос (дефицит) на продукцию;  $r$  – вид ресурса;  $Z_r$  – финансовые затраты на ресурсы;  $Z_{СКЛ}$  – затраты на хранение излишков сырья и продукции на складе;  $Z_{НД}$  – затраты на покрытие санкций за недопоставку продукции.

Значение дефицита или избытка продукции на складе являются ограничениями на объем производства; также запасы ресурсов ограничены на каждом этапе планирования. Критерием эффективности является максимизация прибыли, которая определяется разностью между суммой выручки от реали-

зации продукции и затратами на хранение излишков производства и компенсацией недопоставок. Параметром управления является цена продукции. Отличительной особенностью данной модели является то, что она учитывает дефицит или избыток продукции на складе в общей сумме выручки от реализации. Недостатком является то, что в модели не учтены показатели дебиторской и кредиторской задолженности, складские остатки.

3) в модели оптимального распределения ресурсов в производство [30, 153] рассматриваются процессы производства и складирования готовой продукции. Особенностью модели является то, что все ресурсы предприятия разбиваются на несколько продуктовых групп, при этом ресурсы одной группы могут заменять друг друга согласно коэффициентам взаимозаменяемости при отсутствии того или иного ресурса.

В обобщенном виде модель имеет вид

$$O = \sum_{k=1}^m \left( \sum_{i=1}^m k_{B3} \cdot k_M^{ik} - \sum_{j=1}^n \beta_{kj} \cdot V_{ГП} \right) \rightarrow \min, \quad (1.17)$$

где  $O$  – отклонения израсходованных ресурсов от нормативов;  $m, n$  – количество используемых в производстве видов ресурсов и количество видов выпускаемой продукции;  $k, i, j$  – виды ресурсов;  $k_{B3}$  – коэффициент взаимозаменяемости ресурсов;  $k_M^{ik}$  – коэффициент матрицы перераспределения ресурсов, отражающий количество  $i$ -го ресурса, заменяющего  $k$ -ый ресурс;  $\beta_{kj}$  – элемент матрицы нормативных расходов,  $V_{ГП}$  – объем готовой продукции. Экономический смысл модели заключается в том, что в любой момент времени отклонения израсходованных ресурсов от плановых нормативов должны быть минимальными. В данной модели содержится ограничение на количество ресурсов в данный момент времени. Параметром управления является объем готовой продукции. Преимуществом модели является то, что в ней оптимизируется распределение ресурсов с оперативной заменой недостающих видов сырья и материалов, что обеспечивает менеджмент предприятия адекватными данными о положении дел на производстве. Недостатком модели

является то, что в ней не учитываются остатки незавершённого производства и готовой продукции, а также не рассматриваются показатели дебиторской и кредиторской задолженности, что снижает достоверность рассчитанных показателей оптимального распределения ресурсов в производстве.

4) в модели оперативного планирования производства [114, 145] учитываются объемы заказов по видам сырья и продукции, объемы сырья в наличии на складе с формированием матрицы взаимосвязи видов выпускаемой продукции и технологических процессов. Объем работ при выполнении  $i$ -го заказа на  $j$ -ом оборудовании составит:

$$V_{ij} = \frac{V_i}{\prod_j P_{ij}}, \quad (1.18)$$

где  $V_i$  – общий объем заказа;  $P_{ij}$  – выход готовой продукции при выполнении  $i$ -го заказа на  $j$ -ом оборудовании.

Зная номер заказа ( $i$ ) можно определить изделие ( $s$ ), сырьё ( $k$ ) и заказчика ( $l$ ), используя идентификационные формулы:

$$l = \left[ \frac{i}{S \cdot K + 1} \right] + 1; \quad (1.19)$$

$$s = \left[ \frac{i - (l-1) \cdot S \cdot K}{K} \right] + 1; \quad (1.20)$$

$$k = i - (s-1) \cdot K - (l-1) \cdot K \cdot S, \quad (1.21)$$

где  $l$  – заказчик;  $s$  – вид изделия;  $k$  – используемое сырьё.

Критерий оптимальности зависит от складывающейся ситуации на предприятии. Если мощности предприятия превышают имеющийся объем заказов, то необходимо выполнить имеющиеся заказы с минимальными затратами, критерием эффективности является минимизация затрат на выполнение заказа

$$Z_i = \sum_i^n \sum_j^J C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min, \quad (1.22)$$

где  $Z_i$  – затраты предприятия на изготовление заказа;  $C_{ij}$  – затраты на выпуск единицы продукции  $i$ -го заказа на  $j$ -м оборудовании;  $X_{ij}$  – объем заказа,  $C_i$  – цена единицы продукции.

В случае возможности выбора заказчиков в качестве критерия оптимальности используют показатель прибыли, т.е.

$$P_i = \sum_i^n \sum_j^J (C_i \cdot X_{ij} - C_{ij} \cdot X_{ij}) \rightarrow \max \quad (1.23)$$

Также критерием оптимальности может быть максимальный объем продукции в рублях:

$$V_i = \sum_i^n \sum_j^J C_i \cdot X_{ij} \rightarrow \max \quad (1.24)$$

где  $V_i$  – объем продукции в рублях.

При ограничениях:

- объем заказа  $i$ , выполняемый на  $j$ -м оборудовании, должен быть не меньше минимально необходимого заказа в планируемый период и не должен превышать максимальный объем заказа (по условиям хранения, возможностям оплаты и т.д.);

- мощность оборудования ограничена;

- запасы сырья ограничены.

Параметром управления является объем заказа. *Недостатком* приведенных моделей является то, что они не учитывают НЗП, показатели дебиторской и кредиторской задолженности.

5) в модели формирования затрат предприятия на стадии планирования [37, 134] рассматривается заготовительный, обрабатывающий и сборочный этапы производства продукции. В ней оптимизируется общая себестоимость единицы товарной продукции на основе учета себестоимости единицы продукции на каждом этапе технологического процесса:

$$C_{ТП} = \sum_{k=1}^m C_{1k} * Z_{1k} + \sum_{k=1}^m C_{2k} * Z_{2k} + \sum_{k=1}^m C_{3k} * Z_{3k} \rightarrow \min, \quad (1.25)$$

где  $C_{ТП}$  – общая себестоимость единицы товарной продукции,  $C_{1k}$  – себестоимость продукции на заготовительном этапе;  $C_{2k}$  – себестоимость продукции на этапе обработки;  $C_{3k}$  – себестоимость продукции на этапе сборки; 1 - заготовительный этап; 2 – обрабатывающий этап; 3 – сборочный этап;  $Z$  - количество продукции на этапе технологического процесса.

Затем определяется цена товарной продукции с учетом существующих затрат и планируемой прибыли:

$$C_{ТП} = C_{ТП} + Z + П, \quad (1.26)$$

где  $C_{ТП}$  – цена товарной продукции;  $Z$  - затраты на единицу продукции;  $П$  – планируемая прибыль на единицу продукции.

Параметром управления является цена товарной продукции. *Преимуществом* данной модели является то, что в ней учитывается полный цикл изготовления продукции на всех этапах производства. Ряд показателей, используемых в модели, влияет на длительность производственного цикла (например, затраты на единицу продукции определяются с учетом производственных запасов и остатков НЗП на складе). *Недостатком* является то, что в ней не рассматриваются долги предприятия перед другими организациями и долги, причитающиеся предприятию от сторонних организаций.

б) в *оптимизационной математической модели задач оперативного планирования и управления производством в условиях рыночной экономики* [93, 137, 146] рассматриваются все стадии основного производства. Критерием оптимизации является прибыль по переменной себестоимости, т.е. разница между рыночной ценой, переменной себестоимостью и затратами на реализацию изделий. Модель выглядит следующим образом:

$$П_{ПС} = \max(\sum(C - \sum V_{ЗАГ} \cdot Z_{ЗАГ} - \sum V_{КОМП} \cdot C_{КОМП} - Z_P) \cdot I_B), \quad (1.27)$$

где  $П_{ПС}$  - прибыль по переменной себестоимости;  $C$  – цена реализации всей продукции;  $V_{ЗАГ}$  – количество заготовок;  $Z_{ЗАГ}$  – затраты на обработку заготовок;  $V_{КОМП}$  – количество комплектующих;  $C_{КОМП}$  – цена комплектующих;  $Z_P$  –

затраты на реализацию продукции;  $I_B$  – выработка продукции на заключительной стадии обработки.

В качестве ограничений выступают: уровень межоперационных запасов, вместимость склада, производительность линии обработки, количество переналадок оборудования в каждую смену на стадии обработки; безубыточность работы предприятия (попадание в зону прибылей). Параметром управления является цена реализации продукции. *Преимуществом* данной модели является то, что в ней оптимизируются и сокращаются потери ресурсов, снижается себестоимость продукции, ускоряется оборачиваемость оборотных средств. *Недостатком* является то, что в ней не рассматриваются долги предприятия перед другими организациями и долги, причитающиеся предприятию от сторонних организаций.

7) применение *экономико-математической модели внутригодового планирования поставок сырья, производства и реализации готовой продукции* [118, 141] обеспечит наилучшую адаптацию предприятия к колебаниям рыночного спроса. Модель имеет вид:

$$\Pi = B - Z_{\text{IP}} - Z_{\text{ГП}}^{\text{СКЛ}} - Z_{\text{С}}^{\text{СКЛ}} - Z_{\text{ОС}} \rightarrow \max, \quad (1.28)$$

где  $\Pi$  – прибыль предприятия;  $B$  – выручка от реализации;  $Z_{\text{IP}}$  – производственные затраты;  $Z_{\text{ГП}}^{\text{СКЛ}}$  – затраты на складах готовой продукции;  $Z_{\text{С}}^{\text{СКЛ}}$  – затраты на складах сырья;  $Z_{\text{ОС}}$  – годовые потери, связанные с омертвлением оборотных средств на создание запасов сырья и готовой продукции.

Ограничениями модели являются: уровень необходимых запасов; максимально возможный объем поступления сырья; производственные мощности; максимально возможный объем склада сырья и готовой продукции.

Параметром управления является объем продаж. *Преимуществом* данной модели является то, что при ее использовании обеспечивается максимальная эффективность работы предприятия с учетом некоторых ограничений в различные периоды времени. Ряд показателей, используемых в модели, влияет на длительность производственного цикла (например, затраты на

складах сырья, материалов, комплектующих, готовых изделий). Недостатком модели является то, что в ней не учитываются остатки незавершенного производства, не рассматриваются показатели дебиторской и кредиторской задолженности, что снижает достоверность рассчитанных показателей оптимального распределения ресурсов в производстве.

8) в модели *оптимизации календарных планов сборочных процессов в условиях машиностроительного производства* [12, 147] решается задача построения календарного плана сборочного производства, которая предусматривает формирование номенклатурного и объемного задания цеху (участку) по каждому отрезку планового периода и проверку его на соответствие имеющимся трудовым ресурсам.

Модель имеет вид:

$$F = \sum_{m=1}^m \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \sum_{v=1}^v \frac{((C_j + Z_j^M) * T_{\text{ИЦ}}^{jv} / 2 + (k_k^{vj} - k) * C_j) * n_{vj} * x_{vkmj}}{T_{\text{ИЦ}}^{jv} + k} \rightarrow \min, \quad (1.29)$$

где  $m$  – порядковый номер классификационной группы однородных партий предметов;  $k$  – порядковый номер планово-учетного периода;  $j$  – порядковый номер рассматриваемой сборочной единицы;  $v$  – порядковый номер рассматриваемой партии предметов данного наименования;  $C_j$  – производственная себестоимость сборочной единицы;  $Z_j^M$  – затраты на материалы по сборочной единице;  $T_{\text{ИЦ}}^{jv}$  – длительность производственного цикла сборочной единицы в партии;  $k_k^{vj}$  – фактический срок выпуска партии деталей;  $k$  – ранний срок выпуска партии деталей;  $n_{vj}$  – нормативный размер партии сборочной единицы;  $x_{vkmj}$  – целочисленная переменная булевского типа, принимающая значение: 1, если выпуск партии  $v$  предмета  $j$  группы  $m$  планируется в периоде  $k$ ; 0 – в противном случае.

В модели минимизируются потребности в оборотных средствах, вложенных в незавершенное производство, за счет равномерного выпуска продукции и постепенного нарастания затрат на ее производство при следующих ограничениях:

- своевременности изготовления каждой позиции плана и соблюдении технологической последовательности сборочных операций;
- регулярности повторения объемных пропорций процесса сборки по каждой группе однородных партий предметов;
- равномерности и полной занятости рабочих в течение отрезка времени;
- стабильности связывания средств в незавершенном производстве;
- равномерности объема выпуска продукции.

Параметром управления является размер партии деталей. *Преимуществом* данной модели является то, что в ней учитываются все основные факторы функционирования сборочного производства и достигаются основные технико-экономические показатели деятельности подразделения. Кроме того, эта единственная модель, в которой рассматривается длительность производственного цикла сборочной единицы. *Недостатком* является то, что в ней не рассматривается весь цикл производства продукции (заготовительный этап, процесс производства до этапа сборки, продажа продукции), а лишь этап сборки, что приводит к дефектам в системе планирования и организации производственного процесса.

9) в *математической модели расчета оптимальной производственной программы* [88, 152] рассматривается процесс управления продажами при ресурсных и иных ограничениях. Математическая модель расчета оптимальной производственной программы (ПП) можно представить в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i \rightarrow \max \\ 0 \leq X_i \leq d_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad , \\ \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \cdot X_i \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \end{array} \right. \quad (1.30)$$

где  $X_i$  – объем выпущенной и реализованной  $i$ -й продукции;  $P_i$  - маржинальная прибыль от реализации  $i$ -й продукции;  $d_i$  – спрос на  $i$ -ю продукцию с учетом фактических и страховых складских остатков;  $\lambda_{ij}$  – показатель тру-

доемкости обработки  $i$ -й продукции на  $j$ -м рабочем центре;  $b_j$  – фонд рабочего времени  $j$ -го рабочего центра в плановом периоде.

Основным критерием оптимальности, зависящим от объема производства, ассортимента продукции, является маржинальная прибыль. Ограничениями в данной модели являются: производственные мощности, финансовые ресурсы, дефицитные материалы. Параметром управления является цена продукции.

Основными этапами составления производственной программы являются: оценка трудоемкости производственной программы и сопоставление с имеющимися ресурсами; расчет маржинальной прибыли по видам продукции; анализ маржинальной прибыли и трудоемкости.

*Преимуществом* данной модели является то, что в ней оптимизируются объемы выпущенной и реализованной продукции предприятия с учетом трудоемкости изготовления. *Недостатком* является то, что в ней не рассматривается весь цикл производства и реализации продукции (заготовительный этап, процесс производства, сборочный этап), а также показатели дебиторской и кредиторской задолженности.

Рассмотрим *пооперационные модели* оптимизации производственно-финансового цикла предприятия, в которых производственный процесс рассматривается на уровне выпуска отдельных деталей и сборочных единиц:

1) в модели оптимизации поточно-группового производства [89, 140] минимизируется длительность совокупного цикла как смещения запуска деталей в обработку на последнем рабочем месте относительно первого рабочего места плюс время обработки на нем всей группы деталей:

$$T_{\text{сц}} = \left\{ \sum_{j=1}^m a_j + \sum_{i=1}^k t_i \times n \right\} \rightarrow \min, \quad (1.31)$$

где  $\sum_{j=1}^m a_j$  - смещение запуска деталей на  $j$ -м рабочем месте относительно первого рабочего места;  $\sum_{i=1}^k t_i$  - суммарное время на выполнение операций техно-

логических процессов обработки деталей на последнем рабочем месте;  $k$  – количество наименований деталей в системе;  $n$  – партия запуска деталей в обработку.

Ограничениями в модели являются: размер партии; объем производства; ресурсы; производственные мощности. Параметром управления является партия запуска деталей в обработку. Особенностью данной модели является то, что последовательность запуска деталей в обработку должна приниматься такой, чтобы деталь каждой очереди обработки обеспечивала минимальную составляющую в совокупном цикле обработки деталей. В данной модели рассматриваются показатели, напрямую влияющие на длительность производственного цикла изделия (например, от очередности запуска партии деталей в производство зависит длительность изготовления заказа). *Недостатком* модели является то, что в ней не учитываются показатели оборачиваемости производственных запасов, НЗП и ГП, напрямую связанные с производственным циклом изготовления продукции.

2) в модели минимизации величин смещения [95, 142] учитывается взаимное влияние пооперационных трудоемкостей обработки деталей на совокупный цикл их обработки. Длительность производственного цикла рассчитывается следующим образом:

$$T_{\text{шт}} = \left( \sum_{j=1}^k a_{ji} + \sum_{r=1}^m T_{kr} \right) - \left( \sum_{j=1}^{\lambda} a_{ji} + \sum_{r=1}^m T_{\lambda r} \right), \quad (1.32)$$

где  $\lambda$  – номер рабочего места, начинающего процесс обработки деталей данной группы;  $k$  – номер рабочего места, на котором заканчивается процесс обработки деталей данной группы;  $m$  – количество групп деталей;  $d$  – количество деталей в группе;  $\sum_{j=1}^k a_{ji}$  – величина смещения на  $j$ -м рабочем месте, на

котором заканчивается процесс обработки  $i$ -й партии деталей;  $\sum_{r=1}^m T_{kr}$  – время обработки групп деталей на рабочем месте, завершающем процесс обработки

групп, следующих за  $r$ -й группой;  $\sum_{j=1}^{\lambda} a_{ji}$  – величина смещения на  $j$ -м рабочем ме-

сте, на котором начинается процесс обработки  $i$ -й партии деталей;  $\sum_{r=1}^m T_{\lambda r}$  - время обработки деталей групп, предшествующих  $r$ -й группе деталей на рабочем месте, начинающем процесс обработки.

При этом суммарное время опережения запуска деталей в обработку на каждой технологически связанной паре рабочих мест дифференцируется на две составляющие, первая из которых учитывает несинхронность операций технологических процессов обработки деталей, а вторая – время обработки передаточных партий деталей.

Критерием оптимизации является время передаточной партии, обеспечивающее наименьшую составляющую в общем смещении. Ограничениями модели являются: производственные мощности; размер передаточной партии. Параметром управления является партия запуска деталей в обработку.

*Преимущество* данной модели заключается в проведении пошаговой оптимизации с определением на каждом этапе минимальной передаточной партии с наименьшим вкладом в общее смещение, очередность каждой партии заранее не определена. *Недостатком* модели является то, что в ней не учитываются показатели оборачиваемости производственных запасов, НЗП и ГП, напрямую связанные с производственным циклом изготовления продукции.

3) в модели распределения заказов по трудоемкости [34, 154] оптимизируется суммарная трудоемкость работ по следующей формуле:

$$F = C_i \cdot t_3 \rightarrow \min, \quad (1.33)$$

где  $t_3$  – трудоемкость заказа, назначенная для выполнения мастеру;  $C_i$  – затраты ресурсов на выполнение заданной работы.

Критерием эффективности является минимальный путь прохождения заказа между разными исполнителями. Параметром управления является объем произведенной продукции. Ограничением данной модели является время начала и окончания работ

Особенностью модели является то, что в ней учитывается не только время, необходимое для выполнения заказов, но и склонность конструктора к выполнению данного вида работ с учетом общей специализации, показателя наличия схожих заказов и квалификации работника.

Рассмотрим *модели управления запасами* на предприятии. Параметры управления в моделях оказывают непосредственное влияние на длительность производственного, операционного и финансового циклов предприятия, так как включают в себя показатели производственных запасов, НЗП и готовой продукции:

1) *Модель с фиксированным размером заказа* [16, 100, 135] используется для расчета затрат на хранение и формирование запаса и включает три основные составляющие: непосредственная стоимость содержания запасов, стоимость капитала, замороженного в запасах, и расходы, связанные с естественной убылью.

Расчет оптимального размера заказа проводится по формуле Уилсона [53]:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot Z_{д} \cdot Y}{Z_{XP}}}, \quad (1.34)$$

где  $Q_{opt}$  – оптимальный размер партии;  $Z_{д}$  – затраты на обработку и доставку одной партии заказа;  $Y$  – потребность в продукте за рассматриваемый период;  $Z_{XP}$  – затраты на хранение единицы продукции.

Модель оптимального размера заказа выглядит следующим образом:

$$Z_{общ} = \sqrt{2 \cdot Z_{д} \cdot Z_{XP} \cdot Y} \rightarrow \min, \quad (1.35)$$

где  $Z_{общ}$  – общие издержки на хранение и формирование запаса предприятия.

Ограничениями в данной модели являются минимальный размер партии и ограниченные колебания спроса. Параметром управления является объем выпускаемой продукции. *Преимуществом* данной модели является простота ее применения, которая обуславливается минимальным размером партии. В этом случае легче один раз скорректировать фиксированный размер партии,

чем непрерывно регулировать его переменный заказ. *Недостаток* заключается в том, что модель применяется только в тех случаях, когда издержки управления запасами значительны и их можно вычислить.

2) в модели с фиксированным уровнем запасов [29, 102, 149] рассчитывается максимальный уровень запасов предприятия. Модель может использоваться без учета затрат на хранение и формирование запаса и не основывается на модели оптимального размера заказа. Размер заказа товара определяется как разница между рассчитанным максимальным уровнем запаса и фактической величиной запасов на момент проверки товара на складе. Максимальный уровень заказа рассчитывается по формуле:

$$M = S_d * (L + R) + D, \quad (1.36)$$

где  $S_d$  – средний суточный сбыт;  $L$  – время доставки товара;  $R$  – длительность промежутка времени между проверками товарных запасов на складе;  $D$  – страховой запас.

Критерием эффективности является оптимальный постоянный уровень запаса с учетом страхового запаса. *Ограничениями* в данной модели являются грузоподъемность транспортных средств, суточный сбыт продукции. Параметром управления является объем произведенной продукции. *Преимуществом* данной модели является то, что нет необходимости каждый раз подсчитывать остаток запаса – это делается лишь тогда, когда подходит время следующего заказа. Такой порядок удобен, если контроль запасов является одной из многих обязанностей работников. *Недостаток* заключается в том, что модель применяется только в тех случаях, когда управление запасами достаточно стабильно, спрос предсказуем, и поставка товаров происходит в установленные сроки.

3) в двухуровневой модели управления запасами [26, 138] рассчитывается постоянный уровень запасов, для которого установлен нижний предел размера заказа. В данной модели рассматривается максимальный уровень запасов  $M$  и используется точка заказа. Эти параметры вычисляются по формулам:

$$M = S_d * (L + R) + D, \quad (1.37)$$

$$P = S_d * (L + R / 2) + D, \quad (1.38)$$

где  $P$  – точка заказа.

Порядок применения данной модели можно сформулировать так: если в момент периодической проверки  $J_\phi + g_0 < P$ , то подается заказ  $g = M - J_\phi - g_0$ . Если же  $J_\phi + g_0 > P$ , то заказ не подается. При этом  $J_\phi$  – фактический уровень запаса в момент проведения проверки;  $g_0$  – оптимальный размер заказа.

Параметром управления является объем произведенной продукции. *Преимуществом* данной модели является то, что ее применяют в условиях, когда реализация запасов очень неравномерна во времени, подвержена существенным колебаниям и не поддается планированию и прогнозированию. Основным *недостатком* рассмотренных моделей является то, что они рассматривают только товарные запасы, т.е. запасы ГП и не учитывают запасы НЗП, сырья, материалов на складе.

4) в модели управления запасами с учетом прогноза продаж на месяц [6, 127, 143] рассчитывается размер заказа с учетом страхового запаса. Размер заказа определяется формулой:

$$Q = F_{M+1} + SS - I_{M-1} + F_M, \quad (1.39)$$

где  $F_{M+1}$  – прогноз продаж на месяц  $M + 1$ ;  $SS$  – страховой запас;  $I_{M-1}$  – переходящий запас (остаток) на начало месяца;  $F_M$  – прогноз продаж на месяц  $M$ .

При определении размера страхового запаса необходимо учитывать отклонения фактических продаж от прогнозных значений. При условии надежного прогноза нет необходимости увеличивать страховой запас при единовременных, спрогнозированных колебаниях спроса. Подобные колебания могут быть вызваны запланированными акциями маркетинга. Параметром управления является прогнозный объем продаж продукции.

*Ограничениями* в данной модели являются запас продукции на конец месяца, площадь складских помещений. *Преимуществом* данной модели является то, что ее применение обеспечивает стабильность динамики спроса на

продукцию, сокращение буферных запасов, гибкость планирования ресурсов. *Недостаток* заключается в том, что в ней не рассматриваются все этапы изготовления продукции (заготовительный этап, процесс производства, продажа продукции) что ведет к дефектам в системе планирования и организации производственного процесса.

Рассмотрим *модели многокритериальной оптимизации*, позволяющие одновременно рассмотреть несколько процессов, связанных с производством и реализацией продукции:

1) в модели календарного планирования с нечеткими ограничениями [21, 155] оптимизируется процесс производства на тактическом уровне путем введения нечетких параметров и ограничений. Она подходит для предприятий, обладающих следующими условиями: позиционирование продукции «на заказ», универсальность производства, централизованное формирование плана продаж, смешанная организационная структура, известные характеристики рабочих центров.

*Обобщенный критерий оптимальности плана* определяется простой суммой значений трех критериев в пропорции к нечетким параметрам комфортности производства. Математическая постановка задачи имеет вид:

$$P_1 \cdot J_1 + P_2 \cdot J_2 + P_3 \cdot J_3 \rightarrow \min, \quad (1.40)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – нечеткие параметры.

Параметр  $J_1$ , обозначающий количество операций в день, должен стремиться к минимуму, тогда предприятие обеспечит условие комфортности производства, т.е. запуск операций одного вида как можно большими партиями. Параметр  $J_2$  предполагает минимизацию нагрузки на 1 единицу оборудования, таким образом, выполняется условие равномерности загрузки производства. Параметр  $J_3$  обозначает максимальную скорость выполнения плана.

Модель имеет следующие ограничения: общее количество операций постоянно, загрузка не превышает максимально допустимую норму, остатки по-

ложительны. Параметром управления является объем произведенной продукции.

*Преимуществом* данной модели является многокритериальность, т.е. учет комфортности производства и минимизация количества сверхурочных работ, которые влекут за собой высокие затраты и недовольство персонала. *Недостатком* является то, что в ней не учитываются показатели оборачиваемости производственных запасов, НЗП и ГП, напрямую связанные с производственным циклом изготовления продукции, а также долги предприятия перед другими организациями и долги, причитающиеся предприятию от сторонних организаций.

2) *модель оптимизации ассортимента выпускаемой продукции* [131, 151] является одним из способов определения структуры ассортимента продукции. В общем виде модель выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} f_1 = \langle C_i, x \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_2 = \langle \Pi, x \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_3 = S_0 + \langle r, x \rangle_n + \langle q, y \rangle_n \rightarrow \min, \\ f_4 = \langle t, x \rangle_n \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1.41)$$

где  $C_i$  – цена единицы продукции;  $\Pi$  – прибыль от единицы продукции;  $S_0$  – общая сумма накладных расходов;  $q$  – цена по которой приобретаются производственные ресурсы;  $r$  – объем прямых расходов на производство единицы продукции;  $t$  – трудоемкость изготовления единицы продукции.

*Критериями эффективности* являются:

- максимальный объем продаж (в стоимостном выражении);
- максимальная прибыль;
- минимальная себестоимость;
- минимальная трудоемкость изготовления продукции.

К *параметрам управления* относятся: ( $x$ ) объем выпуска готовой продукции и ( $y$ ) объем производственных запасов. Данная модель содержит ряд ограничений: во-первых, объем выпуска готовой продукции соответствует

емкости рынка по каждому виду продукции  $S_{\min j} \leq X_j \leq S_{\max j}, j \in \overline{1, n}$ ; во-вторых, объем выпуска готовой продукции меньше либо равен сумме первоначальных запасов сырья и объема закупленных производственных запасов  $AX \leq b + y$ . В-третьих, стоимость произведенных ресурсов должна быть меньше либо равна сумме оборотных средств предприятия  $\langle q, y \rangle_m \leq K$ .

Отличительной особенностью данной модели является то, что она учитывает два важных этапа производственного процесса – процесс заготовки сырья и выпуска готовой продукции. Недостатком является то, что в модели не учитывается влияние незавершенного производства на производственный цикл.

3) модель оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения [49, 150] имеет вид:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{проекта}} &= \otimes(x_{\text{in}}) \rightarrow \min_{x_{hj}}, j = \overline{1, M_h}, h = \overline{1, H}; \\
 \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} C_{hj} X_{hj} &= F \rightarrow \min. \\
 S_h &= s_h + K_h - \sum_{j=1}^M C_{hj} X_{hj}; \\
 S_h &\geq 0, h = \overline{1, H}; \\
 T_{\text{проекта}} &\leq T^{\text{задан}}, T_{\text{проекта}} = \otimes(x_{hj}), j = \overline{1, M_h}, h = \overline{1, H}; \\
 \sum_{j=1}^M X_{hj} &= 1, h = \overline{1, H}; \\
 X_{hj} &\in \{0, 1\}, j = \overline{1, M_h}, h = \overline{1, H};
 \end{aligned} \tag{1.42}$$

где  $T_{\text{проекта}}$  – длительность выполнения всех операций проекта;  $C_{hj}$  – стоимость выполнения операций  $j$ -го варианта сетевой модели на  $h$ -м этапе (может складываться из стоимости нескольких операций);  $M_h$  – количество вариантов выполнения операций на этапе  $h$ ,  $h = \overline{1, H}$ ;  $h$  – номер этапа выполнения операций;  $H$  – максимальное количество этапов;  $X_{hj}$  – булева переменная, равная единице, если осуществляется  $j$ -й вариант выполнения операций на  $h$ -м этапе, и равная нулю.

К критериям эффективности данной модели относятся: длительность критического пути в сетевой модели, описывающей проект; стоимость выполнения проекта.

Данная модель содержит ряд *ограничений*: при осуществлении проекта не должно быть финансовых задолженностей после завершения каждого этапа, время выполнения проекта должно быть не больше значения  $T_{\text{задан}}$ , которое указано заказчиком, на каждом этапе можно осуществить не более одного варианта выполнения работ. Модель предусматривает и иные ограничения, например, на расходование некоторых ресурсов, в том числе кадров, оборудования, сырья, материалов, комплектующих.

4) *экономико-математическая многокритериальная модель управления материальными потоками в сетевых интегрированных структурах* [96, 144] имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 F_1(X) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{i,j} \cdot x_{i,j} \rightarrow \min \\
 F_2(X) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{i,j} \cdot x_{i,j} \rightarrow \min \\
 F_3(X) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k_{i,j} \cdot x_{i,j} \rightarrow \max
 \end{aligned}
 \tag{1.43}$$

где  $c_{ij}$  – матрица затрат (транспортные издержки, издержки по хранению);  $L_{ij}$  – нормативы времени доставки продукции от производителей к потребителю из расчета на одну партию продукции;  $N$  – количество хозяйствующих субъектов в системе;  $x_{ij}$  – элемент матрицы.

*Критериями оптимизации* данной модели являются: критерий оптимизации издержек, сроков поставок, коэффициентов загрузки.

К *ограничениям* данной модели можно отнести следующие условия. Элементы системы начинают взаимодействовать между собой только тогда, когда в результате такого взаимодействия возникает экономическая выгода для производителя, т.е. его затраты не превышают выручку.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{i,j} \cdot x_{i,j} < v_s \cdot P_a
 \tag{1.44}$$

Второе ограничение представляет собой минимально необходимое количество связей между элементами системы, которое не может быть меньше количества поставок за весь период:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{i,j} \geq \frac{v_s}{Q_a} \quad (1.45)$$

Третье ограничение накладывает на производителя обязательства по соблюдению сроков поставки продукции, которые задает потребитель в условиях повышения предложения над спросом:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{i,j} \cdot x_{i,j} \leq \frac{Q_a \cdot T^r}{v_s} \quad (1.46)$$

Последнее ограничение – по коэффициентам загрузки, выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k_{i,j} \cdot x_{i,j} \leq \frac{2v_s}{Q_a} + 1 \quad (1.47)$$

*Параметром управления* в данной модели является объем поставок.

Основным недостатком модели является то, что в ней не учитывается этап выпуска готовой продукции.

5) *динамическая модель многокритериальной оптимизации управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий АПК* [3, 148] представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} f_1 = \langle C, V_{ГП} \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_2 = \langle C - C_{ГП}, V_{ГП} \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_3 = \langle C_{ГП}, V_{ГП} \rangle_n \rightarrow \max, \\ f_4 = \langle \Pi, V_{ГП} \rangle_n \rightarrow \max. \end{cases} \quad (1.48)$$

где  $V_{ГП}(T) = (V_{ГП1}(T), V_{ГП2}(T) \dots V_{ГПn}(T)) \in R^n$ ,  $V_{ГП}$  – планируемый объем продукции  $i$ -го наименования на финальный момент времени  $T$ ;  $C$  – цена единицы продукции  $i$ -го наименования;  $C_{ГП} = (C_{ГП1}, C_{ГП2} \dots C_{ГПn}) \in R^n$  – вектор цен, а  $C_{ГП}$  – себестоимость единицы продукции  $i$ -го наименования;  $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) \in R^n$  – вектор прибыли, а  $\Pi_i$  – прибыль единицы продукции  $i$ -го наименования.

В данной модели критериями оптимизации являются: максимальный объем выручки продукции, максимум значения противоположного значению себестоимости продукции, который совпадает с минимумом себестоимости продукции, максимальный прирост прибыли от производства продукции.

*Параметром управления* данной модели является интенсивность производства  $u(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)\} \in R^p$  – вектор управляющего воздействия (вектор управления), каждая  $j$ -ая компонента которого  $u_j(t) \in R^p$  есть интенсивность использования  $j$ -го технологического способа производства в период времени  $\overline{t, t+1}$  ( $j \in \overline{1, p}$ ),  $p \in N$  удовлетворяет заданному значению.

Модель содержит *ограничение* на объем реализации с учетом рисков  $v(t) = \{v_1(t), v_2(t), \dots, v_q(t)\} \in R^q$  – вектор рисков (например, недоставки материалов, неплатежи, порча сельскохозяйственной продукции при хранении или транспортировке, несоответствие требований к качеству сельскохозяйственного сырья или готовой продукции и др.), влияющих на процесс реализации УИПП АПК, удовлетворяет заданному ограничению:  $v(t) \in V_1 CR^q$ , где  $V_1$  – выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник пространства  $CR^q$ , т.е. множество, которое ограничивает возможные значения реализации вектора рисков в момент времени  $t, q \in N$ .

Недостатком модели является то, что в ней учитывается только этап выпуска готовой продукции, но не рассматриваются этапы заготовки и незавершенного производства.

Таким образом, рассмотренные модели обладают рядом недостатков:

- во-первых, не во всех них учитываются показатели НЗП, дебиторской и кредиторской задолженности. Если не брать в рассмотрение показатель *НЗП*, то на предприятии могут возникнуть проблемы перегрузки и недогрузки оборудования, несогласованной работы персонала, несвоевременного выпуска продукции.

Показатель *дебиторской задолженности* также влияет на производственный процесс. При резком росте данного показателя на предприятии

возникнет недостаток финансовых средств для приобретения производственных запасов, выплаты заработной платы и др. Резкое снижение показателя может говорить о сокращении продажи продукции в кредит, что может привести к потере потребителей [10].

*Кредиторская задолженность* выражает обязательства предприятия перед сторонними организациями. Если данный вид задолженности требует немедленного погашения, то на предприятии могут снизиться объемы производства и продаж. Таким образом, вышеперечисленные показатели необходимо учитывать, так как они непосредственно влияют на производственный процесс предприятия; в противном случае, могут возникнуть дефекты в системе планирования и организации производственного процесса [104];

- во-вторых, в некоторых моделях рассматривается только один критерий; наличие нескольких критериев позволяет учитывать больше процессов производства и реализации продукции;

- в-третьих, в существующих моделях не решаются проблемы оптимизации размеров производственных запасов, НЗП, ГП и дебиторской задолженности, что имеет негативную тенденцию и говорит о неспособности существующих моделей решать возникающие проблемы подшипниковой отрасли.

В заключении, современный уровень экономико-математического моделирования производственных систем не отражает нелинейный характер динамики экономических показателей предприятий при многопроцессной системе производства, что обуславливает необходимость поиска путей совершенствования методов моделирования применительно к проблемам предприятий производства подшипников.

#### **1.4. Выводы к главе 1**

Таким образом, в последнее десятилетие возросла роль машиностроения в структуре производственного сектора российской экономики. Развитие машиностроения как основного потребителя продукции предприятий производства подшипников генерирует производный спрос на подшипники. Кроме оборон-

ной промышленности, для которой сфера производства подшипников является стратегическим поставщиком, потребителями подшипников также являются автомобильная, железнодорожная, медицинская, сельскохозяйственная отрасли и др. Крупнейшими производителями подшипников в России являются ЕПК (доля рынка 44%), СПЗ-групп (10%), ВПЗ-23 (7%), ГПЗ-10 (6%), ГПЗ-20 (2%), ЗПП (1%). Объем производства подшипниковой продукции самарскими предприятиями составляет 18% от общего объема производства по РФ в 2015-2016 г.

Предприятия производства подшипников, перечисленные как крупнейшие в России, работают в условиях позаказного производства. Это означает закупку сырья и материалов с учетом запланированного объема продаж в будущем периоде (плановым периодом как правило является год). В результате, на машиностроительных предприятиях возникают остатки ТМЦ, что приводит к замедлению оборачиваемости ресурсов и нарастанию продолжительности циклов, накоплению упущенной прибыли как потенциальной прибыли, иммобилизованной в остатках ТМЦ.

В связи с этим ключевыми задачами в планировании на производстве являются: сокращение издержек на заготовление и хранение материальных ценностей, рост оборачиваемости материальных и финансовых ресурсов, повышение ресурсоотдачи, сокращение сроков изготовления заказов на предприятиях производства подшипников путем оптимизации длительности производственного цикла. Следовательно, для предприятий производства подшипников, имеющих целью оптимизировать длительность производственных циклов за счет варьирования системы управления заказами ТМЦ, актуальным является применение *оптимизационных экономико-математических моделей*.

В современных исследованиях *оптимизационные модели* разрабатывались, как правило, для одного из подпроцессов бизнес-процесса промышленной фирмы (заготовления, производства или сбыта) при ограничениях на параметры управления другими подпроцессами; в качестве критерия оптимальности рассматривалась прибыль в форме линейной функции ресурсов, причем игнорировались временные показатели бизнес-процесса.

Поэтому актуальной представляется задача разработки моделей, учитывающих комплекс критериев эффективности, многомерный вектор производственной программы в качестве параметров управления, а также систему практически значимых ограничений на состояние предприятия, с последующим численным моделированием.

## Глава 2. «Модели и механизмы оптимизации планирования ресурсных заказов на предприятиях»

Анализ существующей системы планирования на предприятиях производства подшипников выявил наличие важных проблем, связанных с необходимостью оптимизации длительности производственного цикла через поддержание оптимальных размеров производственных запасов, незавершенного производства и готовой продукции, достаточных для осуществления производственной деятельности. Ключевой задачей является выявление критериев эффективности сектора закупок ТМЦ, сектора основного производства и сектора реализации продукции.

### 2.1. Статическая модель оптимизации производственного цикла

Длительность производственного цикла характеризует соответствие динамики изменения остатков ТМЦ динамике расходования ТМЦ при выпуске продукции и определяется по формуле [133]:

$$F_1(u) = \frac{T}{C} \cdot (\bar{u}_1 + \bar{u}_2 + \bar{u}_3), \quad (2.1)$$

где  $T$  – продолжительность периода (год, квартал) в днях,  $C$  – себестоимость реализованной за период  $T$  продукции,  $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3$  – средние остатки материалов, незавершенного производства (НЗП) и готовой продукции за период  $T$ .

В качестве параметров управления  $u$  при оптимизации производственного цикла будем рассматривать показатели заказов ТМЦ в производственном процессе в период  $T$ , определяемые по следующим балансовым соотношениям [37]:

– объемы заказов основных материалов (металлов) на склад согласно плану заказов на производство подшипников определяются исходя из материального баланса

$$u_1 = u_1^T - u_1^0 + u_2, \quad (2.2)$$

– объемы наряд-заказов основных материалов со склада в цеха для производства заготовок подшипников согласно плану заказов на производство продукции формируются на основе производственного баланса

$$u_2 = u_2^T - u_2^0 + u_3 - P, \quad (2.3)$$

– объемы наряд-заказов на отпуск готовой продукции согласно заказам покупателей оцениваются исходя из товарного баланса

$$u_3 = u_3^T - u_3^0 + C, \quad (2.4)$$

где  $u_1^0, u_2^0, u_3^0, u_1^T, u_2^T, u_3^T$  – остатки материалов, НЗП и готовой продукции на начало и конец периода  $T$  соответственно;  $P$  – фактические производственные расходы за период  $T$ , за исключением стоимости материалов  $u_2$ , отпущенных со склада на производство продукции, а именно расходы на оплату труда, социальные отчисления, амортизация и прочие расходы.

Определим средние значения остатков по формулам с учетом (2.2)-(2.4):

$$\bar{u}_1 = u_1^0 + \frac{u_1 - u_2}{2} \quad \bar{u}_2 = u_2^0 + \frac{u_2 + P - u_3}{2} \quad \bar{u}_3 = u_3^0 + \frac{u_3 - C}{2} \quad (2.5)$$

Следовательно, суммарный объем заказов материалов

$$u_1 = \sum_{i=1}^I u_1^i$$

оптимизируется по критерию, полученному подстановкой (2.5) в (2.1):

$$\min F_1(u) = \frac{T}{C} \left( u_1^0 + u_2^0 + u_3^0 + \frac{u_1 + P - C}{2} \right) \quad (2.6)$$

где  $u_i$  - материал  $i$ -го наименования,  $I$  – номенклатура материалов.

Условия, выражающие связь динамики производственного процесса с системой планирования заказов материалов в периоде  $T$  определяются, во-первых, материалоемкостью производства

$$P = P(u_1), \quad (2.7)$$

которая характеризует уровень производственных расходов предприятия за период (за исключением материальных расходов) на единицу материальных затрат; во-вторых, материалоемкостью продукции

$$C = C(u_1), \quad (2.8)$$

выражающей соотношение стоимости реализованной продукции и материальных затрат.

Параметры управления могут варьироваться в рамках следующих ограничений. Ограничение по нормативной потребности основных материалов (металлов) в зависимости от объема заказов покупателей определяется исходя из норм расхода основных материалов, а также наличных остатков готовой продукции и НЗП:

$$u_1 \geq u_1^{\min}(N), u_1^{\min} = \sum_{i=1}^I u_1^{i \min}(N), u_1^{i \min} = p_i \sum_{j=1}^J m_{ij} \cdot (N_j - u_{3j}^0 - k_{НЗПj} \cdot u_{2j}^0), i = 1, \dots, I, \quad (2.9)$$

где  $m_{ij}$  – норматив расхода  $i$ -го металла на производство единицы продукции  $j$ -го типа;  $N_j$  – объем заказов продукции  $j$ -го типа;  $k_{НЗПj}$  – коэффициент выхода готового изделия  $j$ -го типа из НЗП, определяемый на основе анализа ретроспективной информации как среднее значение в предыдущие годы;  $p_i$  – закупочная цена  $i$ -го металла (за тонну).

Ограничение по предельному уровню заготовительных издержек

$$u_1 \geq u_1^{\min}(p), \quad (2.10)$$

обусловлено наличием рыночной зависимости закупочной цены основных материалов от размера закупаемой партии

$$p_i = p_i(u_{1i}), i = 1, \dots, I, \quad p'_{iui} < 0, \quad (2.11)$$

и определяется исходя из условия минимальных суммарных производственных расходов

$$\min P_{\Sigma}(u) = \sum_{i=1}^I p_i(u_{1i})u_{1i}(p) + P(u). \quad (2.12)$$

Таким образом, матрица параметров управления включает в себя объемы заказов (предъявлений требований к поставке или оплате) ресурсов на различных стадиях производственного процесса

$$u = \{u_i^j, i = 1, \dots, 3, j = 1, \dots, J_i\}. \quad (2.13)$$

В качестве ресурсов исследуются такие виды (обозначены индексом « $i$ »), как материалы, незавершенное производство (НЗП), готовая продукция, номенклатура которых обозначена индексом « $j$ ».

Значит, критерий эффективности (2.6) преобразовывается в:

$$F_1(u) = \frac{T}{C(u)} \left( u_{\Sigma}^0 + \frac{u_1 + P(u) - C(u)}{2} \right), \quad u_{\Sigma}^0 = \sum_{i=1}^3 u_i^0, \quad (2.14)$$

где  $u_i^0, i=1, \dots, 3$  – остатки ресурсов (материалов, НЗП, готовой продукции соответственно) на начало периода.

**Обоснование формулы (2.14):** формула вытекает из следующих соотношений и преобразований: базовая формула расчета производственного цикла [109]

$$F_1(u) = \frac{T}{C(u)} \sum_{i=1}^3 \bar{u}_i \quad (Д1)$$

где  $\bar{u}_i$  – средние остатки ресурсов за период, рассчитанные по формулам.

$$\bar{u}_i = \frac{u_i^0 + u_i^T}{2}, \quad i=1, \dots, 3. \quad (Д2)$$

С учетом соотношений материального, производственного и товарного балансов [109]

$$u_1 = u_1^T - u_1^0 + u_2, \quad u_2 = u_2^T - u_2^0 + u_3 - P, \quad u_3 = u_3^T - u_3^0 + C, \quad (Д3)$$

средние остатки ресурсов определяются в виде

$$\bar{u}_1 = u_1^0 + \frac{u_1^T - u_2^0}{2}, \quad \bar{u}_2 = u_2^0 + \frac{u_2^T + P - u_3^0}{2}, \quad \bar{u}_3 = u_3^0 + \frac{u_3^T - C}{2}, \quad (Д4)$$

где  $u_i^T$  – остатки ресурсов на конец периода  $T$ .

Подставив (Д2), (Д3), (Д4) в (Д1), получим (2.14). ■

Поскольку выражение цикла (2.13) включает в себя аргументом в явном виде объем заказов материальных ресурсов  $u_1$ , представим функции нематериальных расходов и издержек также в зависимости от этого аргумента, что позволит решить задачу оптимизации функций одной переменной  $u_1$ . Для этого *предположим наличие устойчивых взаимосвязанных трендов* динамики объемов заказов на продукцию фирмы и объемов заказов ресурсов на различных стадиях производства в виде функций материалоемкости производства

$P(u_1), P'_{u_1}(u_1) > 0$  и материалоемкости выпуска продукции  $C(u_1), C'_{u_1}(u_1) > 0$ . Рассмотрим следующие модели этих трендов в виде степенных функций связи параметров управления и состояния фирмы

$$P(u_1) = B_P u_1^{\beta_P}, B_P > 0, 0 < \beta_P < 2, \quad (2.15)$$

$$C(u_1) = B_C u_1^{\beta_C}, B_C > 0, 0 < \beta_C < 2, \quad (2.16)$$

где  $B_C, B_P, \beta_C, \beta_P$  – коэффициенты регрессионных моделей, ограничение  $0 < \beta < 2$  наложено в связи с реальным характером эффекта расширения масштаба [72]. Отметим, что функции (2.15)-(2.16) могут не отражать непосредственные регрессионные связи с аргументом  $u_1$ , а формируются путем выявления наиболее коррелируемых из компонентов матрицы (2.13), а затем последовательного получения регрессий, как будет показано при моделировании.

Также предположим наличие убывающих трендов цен ресурсов, закупаемых фирмой,  $z_{j_1} = z_{j_1}(u_{1j_1}), j_1 = 1, \dots, J_1, z'_{j_1} < 0$ , моделируемых в виде степенных функций

$$z_{j_1}(u_{1j_1}) = A_{z_{j_1}} u_{1j_1}^{\alpha_{z_{j_1}}}, \alpha_{z_{j_1}} < 0, j_1 = 1, \dots, J_1, \quad (2.17)$$

где  $A_{z_{j_1}}, \alpha_{z_{j_1}}$  – коэффициенты регрессионных моделей цен ресурсов.

Учитываются следующие ограничения на управление. Ограничение по нормативу потребности ресурсов в зависимости от объема заказов покупателей определяется исходя из норм расхода материалов, а также наличных остатков готовой продукции и НЗП:

$$u_1^{\max}(N) \geq u_1 \geq u_1^{\min}(N), u_{1j_3}^{\max(\min)} = \sum_{j_1=1}^{J_1} \left[ z_{j_1} \sum_{j_3=1}^{J_3} m_{j_1 j_3} (N_{j_3}^{\max(\min)} - u_{3j_3}^0 - k_{j_3} \cdot u_{2j_3}^0) \right], \quad (2.18)$$

где  $m_{j_1 j_3}$  – массовый норматив расхода  $j_1$ -го ресурса на производство единицы продукции  $j_3$ -го типа;  $N_{j_3}^{\max(\min)}$  – диапазон колебаний спроса на продукцию  $j_3$ -го типа;  $k_{j_3}$  – коэффициент выхода готового изделия  $j_3$ -го типа из НЗП;  $z_{j_1}$  – закупочная цена  $j_1$ -го ресурса (за единицу массы).

Ограничение по предельному уровню заготовительных издержек

$$u_1 \geq u_1^{\min}(z), \quad (2.19)$$

обусловлено ростом цены ресурсов при снижении  $u_1$  по тренду (2.17).

Сформулируем задачу оптимизации заказов ресурсов по критерию производственного цикла

$$u_{1(1)}^* = \arg \min_{u_1 \in U} F_1(u_1), \quad (2.20)$$

с учетом ограничений:

$$U = \{u_1 \in R^+ \mid u_1^{\max}(N) \geq u_1 \geq u_1^{\min}(N), u_1 \geq u_1^{\min}(z)\}, \quad (2.21)$$

где  $U$  – область допустимых значений  $u_1$ .

## 2.2 Механизмы однопериодной оптимизации производственного цикла

### 2.2.1 Механизм минимизации издержек

Определим граничное условие в ограничении (2.19) исходя из условия минимума суммарных производственных расходов

$$P_{\Sigma}(u) = \sum_{j_1=1}^{J_1} z_{j_1}(u_{1j_1}) u_{1j_1} + P(u_1), \quad (2.22)$$

в виде следующего утверждения.

**Утверждение 1:** минимум суммарных производственных расходов (2.22) при трендах вида (2.15), (2.17) достигается для неотрицательного аргумента  $u_{1j_1}^{\min} \geq 0$  при необходимом и достаточном условиях издержек производства:

$$u_{1j_1}^{\min}(z) = \left( \frac{B_p \beta_p}{-(\alpha_{z_{j_1}} + 1) A_{z_{j_1}}} \right)^{\frac{1}{\alpha_{z_{j_1}}}} \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1}^{\min}(z) \right)^{\frac{\beta_p - 1}{\alpha_{z_{j_1}}}}, \quad j_1 = 1, \dots, J_1, \quad (2.23)$$

$$\beta_p \leq 1 \cap \alpha_{z_{j_1}} < -1 \cap A_{z_{j_1}} (\alpha_{z_{j_1}} + 1) \alpha_{z_{j_1}} u_{1j_1}^{\alpha_{z_{j_1}} - 1} > B_p \beta_p |\beta_p - 1| \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p - 2}. \quad (2.24)$$

Экономический смысл уравнения (2.23) заключается в определении такого минимального размера производственных расходов, который обеспечивает использование производственных мощностей и загрузку оборудования машиностроительного предприятия.

Выполнение достаточного условия минимума суммарных производственных расходов (2.24) соответствует высокоэластичным кривым цен ресурсов

( $\alpha_{z_j} < -1$ ). Как правило, на практике реализуется случай низкоэластичной кривой цены ( $|\alpha_{z_j}| < 1$ ), следовательно ограничение (2.19) не играет роли, поскольку минимум производственных расходов достигается при  $u_{1j_1}^{\min} < 0$ , что невозможно в реальных производственных условиях.

Отметим, что условие (2.14) подтверждает наличие минимального размера производственных расходов и выполняется при типичном для производственных предприятий замедленном росте нематериальных расходов с увеличением заказов ресурсов ( $\beta_p \leq 1$ ).

В предположении, что фирма использует однотипные материальные производственные ресурсы, можно приближенно заменить фактические значения коэффициентов функций цен и объемов заказов ресурсов на средние значения (обозначены  $\bar{\alpha}_z, \bar{A}_z, \bar{u}_1^{\min}$ ); тогда уравнение (2.23) имеет аналитическое решение и позволяет определить минимальный размер производственных расходов на покупку сырья и материалов при однотипных материальных ресурсах

$$\bar{u}_1^{\min}(z) = \left( -\frac{B_p \beta_p J_1^{\beta_p-1}}{(\bar{\alpha}_z + 1) \bar{A}_z} \right)^{\frac{1}{\bar{\alpha}_z - \beta_p - 1}}. \quad (2.25)$$

**Доказательство утверждения 1:** подставим (2.15), (2.17) в (2.22)

$$P_{\Sigma} = \sum_{j_1=1}^{J_1} A_{z_{j_1}} u_1^{\alpha_{z_{j_1}}+1} + B_p \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p}, \quad (Д5)$$

дифференцируя (Д5), запишем необходимое условие минимума (2.22)

$$P'_{\Sigma u_{1j_1}} = A_{z_{j_1}} (\alpha_{z_{j_1}} + 1) u_1^{\alpha_{z_{j_1}}} + B_p \beta_p \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p-1} = 0, \quad j_1 = 1, \dots, J_1,$$

откуда получим соотношение (2.23). Отметим, что неотрицательное решение уравнения (2.23) соответствует ограничению

$$\alpha_{z_{j_1}} < -1, \quad (Д6)$$

Достаточное условие минимума

$$P''_{\Sigma u_{1j_1}} = A_{z_{j_1}} \alpha_{z_{j_1}} (\alpha_{z_{j_1}} + 1) u_1^{\alpha_{z_{j_1}}-1} + B_p \beta_p (\beta_p - 1) \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p-2} > 0, \quad j_1 = 1, \dots, J_1 \quad (Д7)$$

выполняется при

$$\begin{cases} \beta_p > 1 \cap B_p \beta_p (\beta_p - 1) \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p - 2} \geq A_{z_{j_1}} |\alpha_{z_{j_1}} + 1| \alpha_{z_{j_1}}^{\alpha_{z_{j_1}} - 1} u_{1j_1}^{\alpha_{z_{j_1}} - 1}, \forall \alpha_{z_{j_1}} < 0, \\ \beta_p \leq 1 \cap \alpha_{z_{j_1}} < -1 \cap A_{z_{j_1}} (\alpha_{z_{j_1}} + 1) \alpha_{z_{j_1}}^{\alpha_{z_{j_1}} - 1} u_{1j_1}^{\alpha_{z_{j_1}} - 1} > B_p \beta_p |\beta_p - 1| \left( \sum_{j_1=1}^{J_1} u_{1j_1} \right)^{\beta_p - 2}, \end{cases}$$

однако, учитывая (Д6), условие (Д7) выполняется только при соотношении (2.24). ■

### 2.2.2 Механизм минимизации производственного цикла

Сформируем механизм оптимального планирования заказов ресурсов по критерию (2.6) без учета ограничений (2.21), обозначив оптимальный заказ  $u_{1F1}^*$ . Предварительно отметим, что совместный анализ трендов (2.15), (2.16) показывает, что темпы роста нематериальных расходов и издержек должны удовлетворять соотношению

$$\beta_p < \beta_c + 1, \quad (2.26)$$

поскольку в противном случае ( $\beta_p > \beta_c + 1$ ) рост нематериальных расходов должен значительно опережать рост себестоимости, что в промышленности, для которой характерна высокая материалоемкость, невозможно.

**Утверждение 2:** минимум длительности производственного цикла (2.14) при трендах (2.15), (2.16) с учетом (2.26) достигается для неотрицательного аргумента  $u_{1F1}^* \geq 0$ , удовлетворяющего условиям

$$-2u_{\Sigma}^0 \beta_c + (1 - \beta_c) u_{1F1}^* + B_p (\beta_p - \beta_c) u_{1F1}^{*\beta_p} = 0 \quad (2.27)$$

$$u_{1F1}^* \in U_1 = \{ \beta_c > \beta_p \cup \beta_c < \beta_p \cap \beta_c + 1 > \beta_p \cap \varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_1) > 0 \}, \quad (2.28)$$

где  $\varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_1) = \beta_c [2(\beta_c + 1)u_{\Sigma}^0 + \beta_c - 1] u_1 + B_p |\beta_c - \beta_p| (\beta_c + 1 - \beta_p) u_1^{\beta_p}$ .

Условие (2.27) позволяет определить такой размер заказа производственных ресурсов, при котором длительность производственного цикла была бы минимальна. Условие (2.28) является достаточным условием минимума производственного цикла.

В некоторых частных, но характерных случаях, уравнение (2.27) можно решить аналитически в виде следующих механизмов оптимизации заказов ресурсов по критерию длительности производственного цикла, области применимости которых определены с учетом  $u_{1F1}^* \geq 0$ :

$$u_{1F1}^* = \left( \frac{2u_{\Sigma}^0 \beta_C}{B_P (\beta_P - \beta_C)} \right)^{1/\beta_P} \quad \forall \beta_C \approx 1, \text{ при } \beta_P > \beta_C, \quad (2.29)$$

$$u_{1F1}^* = \frac{2u_{\Sigma}^0 \beta_C}{1 - \beta_C} \quad \forall \beta_C \approx \beta_P, \text{ при } \beta_C < 1, \quad (2.30)$$

$$u_{1F1}^* = \frac{2u_{\Sigma}^0 \beta_C}{1 - \beta_C + B_P (\beta_P - \beta_C)} \quad \forall \beta_P \approx 1, \text{ при } \beta_C < \frac{1 + B_P \beta_P}{1 + B_P} < 1, \quad (2.31)$$

$$u_{1F1}^* = \frac{2u_{\Sigma}^0 \beta_C - B_P (\beta_P - \beta_C)}{1 - \beta_C} \quad \forall \beta_P \ll 1, \text{ при } \beta_C < 1. \quad (2.32)$$

Механизм (2.29), область применимости которого соответствует опережающему росту нематериальных расходов над общими издержками ( $\beta_P > \beta_C$ ), получен из условия прямой пропорциональности себестоимости продукции и заказов ресурсов ( $\beta_C \approx 1$ ), что отражает полное использование материальных ресурсов в производстве; при такой системе планирования не происходит накопления запасов и не возникает дефицит ресурсов.

Механизм (2.30), применимый в случае замедленного роста издержек по сравнению с заказами ресурсов ( $\beta_C < 1$ ), отражает совпадение темпа роста нематериальных производственных расходов с темпом роста себестоимости ( $\beta_P \approx \beta_C$ ) и реализуется в условиях жестких технологических нормативов, обеспечивающих постоянное соотношение общих издержек и нематериальных расходов, что типично при системе планирования нормативного планирования (стандарт-костинг).

Механизм (2.31), применимый, как правило, в случае  $\beta_C < 1$ , поскольку обычно  $\beta_P < 1$ , соответствует концепции нормативного планирования, как и вариант (19), но при условии установления постоянного соотношения между заказами материальных ресурсов и уровнем нематериальных расходов ( $\beta_P \approx 1$ ).

Наконец, вариант (2.32) типичен для фирм, производственный процесс которых отличается высокой материалоемкостью (металлургия, машиностроение и металлообработка, промышленность строительных материалов), вследствие чего темп роста нематериальных расходов значительно ниже темпа роста материальных ресурсов ( $\beta_p \ll 1$ ); область применимости механизма (2.32) также соответствует  $\beta_c < 1$ . Таким образом, аналитические механизмы (2.29)-(2.32) применимы для наиболее характерного способа построения производственного процесса современных промышленных фирм, при котором за счет технологических эффектов темп роста издержек ниже темпа роста материальных ресурсов.

Анализ механизмов (2.29)-(2.32) показывает, что значение  $u_{1F1}^*$  по порядку величины близко к  $u_\Sigma^0$ , а поскольку  $u_\Sigma^0 \gg u_1^0$ , то оптимум цикла имеет место при значениях, существенно превышающих средние остатки материальных ресурсов.

Отметим, что с учетом соотношения порядка величин остатков запасов  $u_\Sigma^0$ , объема заказов  $u_{1F1}^*$  и коэффициентов регрессий  $\beta_c, \beta_p$  выполняется следующее соотношение  $\beta_c [2(\beta_c + 1)u_\Sigma^0 + \beta_c - 1] u_1 \gg B_p |\beta_c - \beta_p| (\beta_c + 1 - \beta_p) u_1^{\beta_p}$ , поэтому достаточное условие (2.28) выполняется практически для всех  $u_{1F1}^* \geq 0$ , следовательно  $\varphi(\beta_c, \beta_p, u_\Sigma^0, u_1) > 0 \forall u_{1F1}^* \geq 0$ . (2.33)

Условие (2.33) используем в дальнейшем для анализа достаточных условий минимума операционного цикла и максимума прибыли.

**Доказательство утверждения 2:** исходя из необходимого условия оптимальности (2.14)

$$F'_{u_1}(u_1) = -\beta_c \frac{T u_\Sigma^0}{B_c} u_1^{-\beta_c - 1} + \frac{T}{2B_c} (1 - \beta_c) u_1^{-\beta_c} + \frac{T B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c) u_1^{\beta_p - \beta_c - 1} = 0 \quad (\text{П8})$$

получим уравнение (2.27) для определения значения  $u_{1F1}^*$ . Достаточное условие минимума:

$$F''_{u_1}(u_1) = -\beta_c(-\beta_c - 1) \frac{T u_{\Sigma}^0}{B_c} u_1^{-\beta_c - 2} - \frac{T}{2B_c} (1 - \beta_c) \beta_c u_1^{-\beta_c - 1} + \frac{T B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c)(\beta_p - \beta_c - 1) u_1^{\beta_p - \beta_c - 2} > 0$$

реобразуем к виду

$$\beta_c [2(\beta_c + 1)u_{\Sigma}^0 + \beta_c - 1] u_1 + B_p (\beta_c - \beta_p)(\beta_c + 1 - \beta_p) u_1^{\beta_p} > 0. \quad (Д9)$$

Поскольку для реальных фирм по порядку величин  $u_{\Sigma}^0 \gg \beta_c$ , то  $2(\beta_c + 1)u_{\Sigma}^0 + \beta_c \gg 1$ ; поэтому на знак (Д9) влияет только соотношение  $\beta_c, \beta_p$ . С учетом диапазонов изменения  $\beta_c, \beta_p$ , определенных (2.15), (2.16), условие (Д9) выполняется при

$$\begin{cases} \beta_c > \beta_p \cup [\beta_c < \beta_p \cap \beta_c + 1 < \beta_p] \forall u_{1F1}^* \geq 0, \\ \beta_c < \beta_p \cap \beta_c + 1 > \beta_p \cap \varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_1) > 0, \end{cases} \quad (Д10)$$

где  $\varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_1) = \beta_c [2(\beta_c + 1)u_{\Sigma}^0 + \beta_c - 1] u_1 + B_p |\beta_c - \beta_p| (\beta_c + 1 - \beta_p) u_1^{\beta_p}$ .

С учетом (2.26) условие (П10) имеет вид (2.28). ■

### 2.2.3 Статический механизм комплексной оптимизации

Сформируем механизм оптимального планирования заказов ресурсов по критерию, являющийся решением задачи (2.20), в виде следующего утверждения.

#### **Утверждение 3 механизм**

$$u_{1F1}^* = \min \left\{ \max \left\{ u_{1F1}^*, u_1^{\min}(N), u_1^{\min}(z) \right\}, u_1^{\max}(N) \right\} \quad (2.34)$$

является решениями задачи оптимизации (2.20) при ограничении (2.21).

**Доказательство утверждения 3:** запишем функцию Лагранжа для задачи (2.20) при ограничении (2.21)

$$L = F_1(u_1) + \lambda_1 (u_1^{\min}(N) - u_1) + \lambda_2 (u_1^{\max}(N) - u_1) + \lambda_3 (u_1^{\min}(z) - u_1), \quad (Д11)$$

дифференцируя которую, получим систему необходимых условий оптимальности

$$\frac{\partial L}{\partial u_1} = \frac{\partial F(u_1)}{\partial u_1} - \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 = 0, \quad (Д12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \lambda_1} &= u_1^{\min}(N) - u_1 \leq 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} &= u_1^{\max}(N) - u_1 \geq 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_3} &= u_1^{\min}(z) - u_1 \leq 0, \end{aligned} \tag{Д13}$$

При выполнении (Д13) как строгих неравенств решением системы (Д12), (Д13) будет вектор множителей Лагранжа  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$ , следовательно, из (Д12) следуют необходимые условия оптимальности  $\frac{\partial F_1(u_1)}{\partial u_1} = 0$ , записанные в форме (2.27) для определения оптимума критерия без ограничений  $u_{1F1}^*$ , то есть при этом  $u_{1(1)}^* = u_{1F1}^*$ . В случае выполнения какого-либо из условий (Д13) как строгих равенств решением системы (Д12), (Д13) будет параметр управления, удовлетворяющий условиям

$$u_1 = u_1^{\min}(N) \cup u_1 = u_1^{\max}(N) \cup u_1 = u_1^{\min}(z), \tag{Д14}$$

которые формально запишем в виде (2.34). Достаточное условие экстремума в задаче (2.20) при ограничении (2.21) выполняется, если достаточное условие (2.28) определяет диапазон  $u_{1F1}^* \in U$ . ■

Механизм (2.34) экономически интерпретируется следующим образом: оптимум производственного цикла достигается при таком значении заказа ресурса, которое является наибольшим из оптимального значения заказа по механизму (2.27), если оно не выходит за нижние границы заказа (2.21), и максимального значения заказа (2.21) исходя из производственной программы.

### 2.3. Динамическая модель оптимизации производственного цикла

Динамика производственного процесса предприятий производства подшипников определяется ежеквартальным корректированием плана в связи с поступлением заказов покупателей, вследствие чего опосредованно нарастает объем заказов материалов и происходит накопление остатков ТМЦ. Поэтому

динамическая модель производственного цикла составлена в аддитивной форме по подпериодам периода  $T$

$$F_2(u) = \sum_{t=1}^{\tau} \frac{T_t}{C_t(u)} \cdot (u_1^{0t} + u_2^{0t} + u_3^{0t}) + \sum_{t=1}^{\tau} \frac{T_t}{2C_t(u)} \cdot (u_{1t} + P_t(u) - C_t(u)), \quad (2.35)$$

где  $T_t$  - продолжительность периода (квартал) в днях;  $C_t$  - себестоимость реализованной за период  $T$  продукции;  $P_t$  - фактические производственные расходы за период  $T$ , за исключением стоимости материалов, отпущенных со склада на производство продукции, а именно расходы на оплату труда, социальные отчисления, амортизация и прочие расходы;  $u_1^{0t}, u_2^{0t}, u_3^{0t}$  - остатки материалов, НЗП и продукции на начало  $t$ -го подпериода.

Формула (2.35) справедлива при следующих рекуррентных соотношениях, определяющих зависимости остатков ТМЦ в последующий подпериод от динамики заготовления и выпуска в предыдущий подпериод периода  $T$ :

$$\begin{cases} u_1^{0(t+1)} = u_1^{0t} + u_1^t - u_2^t \\ u_2^{0(t+1)} = u_2^{0t} + u_2^t - u_3^t + P_t, \\ u_3^{0(t+1)} = u_3^{0t} + u_3^t - C_t \end{cases} \quad (2.36)$$

где  $u_1^t, u_2^t, u_3^t$  - объемы заказов материалов на склад, отпуска материалов в производство и объем выпуска продукции в соответствии с заказами в  $t$ -й подпериод периода  $T$ ;  $\tau$  - число подпериодов.

Определим динамические связи процессов производства, выпуска и реализации продукции с объемами заказов и уровнем начальных остатков ТМЦ в форме степенных функций, аналогичных (2.15), (2.16):

$$\begin{aligned} P_t(u_{1t}) &= B_P u_{10t}^{\beta_{P0}} u_{1t}^{\beta_P}, B_P > 0, 0 < \beta_P < 2, 0 < \beta_{P0} < 2, \\ C_t(u_{1t}) &= B_C u_{10t}^{\beta_{C0}} u_{1t}^{\beta_C}, B_C > 0, 0 < \beta_C < 2, 0 < \beta_{C0} < 2, \end{aligned} \quad (2.37)$$

где  $A_P, A_C, \alpha_P, \alpha_C, \alpha_{P_2}, \alpha_{C_2}$  - коэффициенты регрессионных зависимостей.

Подставив (2.37) в (2.35), получим выражение цикла в  $t$ -м подпериоде:

$$F_t(u) = \frac{T_t u_{1t}^0}{B_C u_{10t}^{\beta_{C0}} u_{1t}^{\beta_C}} + \frac{T_t (u_{1t} + B_P u_{10t}^{\beta_{P0}} u_{1t}^{\beta_P} - B_C u_{10t}^{\beta_{C0}} u_{1t}^{\beta_C})}{2B_C u_{10t}^{\beta_{C0}} u_{1t}^{\beta_C}} \quad (2.38)$$

Динамическая модель оптимизации производственного цикла предполагает формирование дискретного временного ряда параметров управления  $u_t^t$ ,  $t=1, \dots, \tau$  исходя из минимизации критерия (2.38) в каждый подпериод периода  $T$  при выполнении следующих динамических ограничений [24,25]:

$$U_t = \left\{ u_{1t} \in R^+ \mid u_{1t}^{\max}(N_t) \geq u_{1t} \geq u_{1t}^{\min}(N_t), u_{1t} \geq u_{1t}^{\min}(z_t) \right\} \quad (2.39)$$

где  $U_t$  – область допустимых значений  $u_{1t}$  в  $t$ -м подпериоде.

Динамическая модель оптимизации производственного цикла предполагает формирование дискретного временного ряда параметров управления  $u_1^t, u_2^t, u_3^t$ ,  $t=1, \dots, \tau$  исходя из минимизации критерия (4) в каждый подпериод периода  $T$  при выполнении следующих динамических ограничений [5,7]. Минимальный уровень объема заказов

$$u_{1i}^t \geq u_{1i}^{\min}(p), i = 1, \dots, I \quad (2.39)$$

определяется исходя из минимума производственных расходов, соответствующих  $t$ -му подпериоду периода  $T$ . Также накладывается ограничение страхового запаса:

$$u_{1i}^t \geq u_{1i}^{\min}, u_{1i}^{\min} = k_{ni} \cdot u_{2i}^t, i = 1, \dots, I, \quad (2.40)$$

где  $k_{ni}$  – норма страхового запаса.

Ограничения по нормативным потребностям

$$u_{2i}^t \geq u_{2i}^{\min} = p_j \sum_{j=1}^J m_{ij} \cdot (N_j^t - u_{3j}^{0t} - k_{H3Пj} \cdot u_{2j}^{0t}), i = 1, \dots, I \quad (2.41)$$

$$u_{3i}^t \geq u_{3i}^{\min} = \sum_{j=1}^J p_{0j} (N_j^t - u_{3j}^{0t}) \quad (2.42)$$

где  $p_j^0$  – отпускная цена продукции  $j$ -го типа; накладываются на объем отпуска материалов в производство и объем выпуска продукции в соответствии с заказами в  $t$ -й подпериод периода  $T$ , поскольку в модели (2.38) эти параметры управления входят в явном виде. Остатки  $u_{2j}^{0t}, u_{3j}^{0t}$  учитываются в (2.41), (2.42) в натуральных единицах.

Кроме того, вследствие накопления остатков с целью исключения пере-производства вводится ограничение на максимальный выпуск, обусловленное кривыми спроса на продукцию предприятия [23]:

$$u_3^t \leq u_{3t}^{\max}(p_0), \quad (2.43)$$

максимальное значение исходя из (2.37) рассчитывается по формуле

$$u_{3t}^{\max}(p_0) = \left( \frac{C^{\max}(p_0)}{B_C \cdot u_{10t}^{\beta_{C0}}} \right)^{\frac{1}{\beta_C}} = \left( \frac{\frac{1}{r} \sum_{j=1}^J p_{0j} \cdot N_j(p_{0j})}{B_C \cdot u_{10t}^{\beta_{C0}}} \right)^{\frac{1}{\beta_C}}, \quad (2.44)$$

где  $r$  - средний уровень рентабельности продукции,  $N_j(p_{0j})$  - кривые спроса на продукцию.

Анализ ограничения (2.39) исходя из минимума  $P_{\Sigma}(u)$  при условии зависимости страхового запаса (2.40)  $u_{2i} = u_{1i} / k_{ni}$

$$P_{\Sigma}(u) = \sum_{i=1}^I \left( p_i(u_{1i}) \cdot u_{1i}(p_i) + B_P u_{10t}^{\beta_{P0}} u_{1t}^{\beta_P} \right) = \sum_{i=1}^I \left( p_i(u_{1i}) \cdot u_{1i}(p_i) + B_P u_{10t}^{\beta_{P0}} \cdot \left( \frac{u_{1i}}{k_{ni}} \right)^{\beta_P} \right)$$

показывает по необходимому условию минимума

$$P'_{\Sigma u_{1i}}(u) = A_{p_i} \cdot (1 + \alpha_{p_i}) \cdot u_{1i}^{\alpha_{p_i}} + \frac{A_{p_i} \cdot u_{20i}^{\alpha_{p_i}}}{k_{ni}^{\alpha_{p_i}}} \cdot \alpha_3 \cdot u_{1i}^{\alpha_3 - 1} = 0,$$

что оптимальный объем заказа равен:

$$u_{1i}^{\min}(p) = \left( - \frac{A_2 \cdot u_{20i}^{\alpha_2}}{k_{ni}^{\alpha_2} \cdot D_i \cdot (1 + b_i)} \right)^{1 - \alpha_3 + b_i}, \quad i = 1, \dots, I. \quad (2.45)$$

Достаточное условие минимума  $P_{\Sigma}(u)$

$$P''_{\Sigma u_{1i}} = D_i \cdot (1 + b_i) \cdot b_i \cdot u_{1i}^{b_i - 1} + \frac{A_2 \cdot u_{20i}^{\alpha_2}}{k_{ni}^{\alpha_2}} \cdot \alpha_3 \cdot (\alpha_3 - 1) \cdot u_{1i}^{\alpha_3 - 2} > 0 \quad (2.46)$$

требуется дополнительное исследование при конкретном значении  $\alpha_3$  и будет проанализировано для сформированных регрессий (2.36-2.37).

Анализ модели (2.38)-(2.44) показывает, что поскольку

$$F'_{t u_1} = \frac{T_t}{B_2 \cdot u_{30t}^{\beta_2} \cdot u_{3t}^{\beta_3}} > 0 \quad \forall u_2 > 0, u_3 > 0,$$

то оптимальный уровень заказа материалов соответствует минимальному значению, определяемому либо по (2.40), либо по (2.45):

$$u_{1t}^* = u_{1t}^{\min}(p) \cup u_{1t}^{\min}, i = 1, \dots, I; \quad (2.47)$$

$$\text{из условия } F'_{t u_2} = \frac{T_t \alpha_3 A_2 u_{20t}^{\alpha_2} \cdot u_{2t}^{\alpha_3 - 1}}{B_2 \cdot u_{30t}^{\beta_2} \cdot u_{3t}^{\beta_3}} > 0 \quad \forall u_3 > 0 \text{ при } \alpha_3 > 0$$

следует, что оптимальный уровень расхода материалов равен минимальному значению:

$$u_{2t}^* = u_{2t}^{\min}(N) \quad (2.48)$$

в силу то, что

$$F'_{t u_3} = -\beta_3 \cdot \frac{T_t (u_{1t}^0 + u_{2t}^0 + u_{3t}^0) + \frac{T_t}{2} \cdot (u_{1t} + A_2 \cdot u_{20t}^{\alpha_2} \cdot u_{2t}^{\alpha_3})}{B_2 \cdot u_{0t3}^{\beta_2} \cdot u_{3t}^{\beta_3 + 1}} < 0 \quad \forall u_3 > 0 \text{ при } \beta_3 > 0$$

оптимальный выпуск равен максимальному значению:

$$u_{3t}^* = u_{3t}^{\max}(p_0). \quad (2.49)$$

Выражения (2.47) – (2.49) позволяют определить динамический ряд параметров управления в t-м подпериоде периода T.

Сформулируем механизмы оптимизации производственного цикла (2.38) без учета ограничений (2.39) и с учетом этих ограничений в виде следующих утверждений, доказательства которых не представлены, поскольку аналогичны утверждениям 2,3.

**Утверждение 4:** минимум длительности производственного цикла (2.38) в t-м подпериоде при трендах (2.37) с учетом (2.26) достигается для неотрицательного аргумента  $u_{1t}^* \geq 0$ , удовлетворяющего условиям

$$-2u_{\Sigma t}^0 \beta_c + (1 - \beta_c) u_{1t}^* + B_p u_{10t}^{\beta_{p0}} (\beta_p - \beta_c) u_{1t}^{*\beta_p} = 0 \quad (2.40)$$

$$u_{1t}^* \in U_{1t} = \{ \beta_c > \beta_p \cup \beta_c < \beta_p \cap \beta_c + 1 > \beta_p \cap \phi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma t}^0, u_{1t}^*) > 0 \}, \quad (2.41)$$

$$\text{где } \phi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma t}^0, u_{1t}^*) = \beta_c [2(\beta_c + 1)u_{\Sigma t}^0 + \beta_c - 1] u_{1t}^* + B_p u_{10t}^{\beta_{p0}} |\beta_c - \beta_p| (\beta_c + 1 - \beta_p) u_{1t}^{*\beta_p}.$$

**Утверждение 5:** механизм

$$u_{1Ft}^* = \min \{ \max \{ u_{1t}^*, u_{1t}^{\min}(N_t), u_{1t}^{\min}(z_t) \}, u_{1t}^{\max}(N_t) \} \quad (2.42)$$

является решениями задачи оптимизации (2.38) при ограничении (2.39).

## 2.5. Механизм минимизации операционного цикла

Рассматривается задача оптимального планирования заказов производственных ресурсов в бизнес-процессе фирмы по критерию операционного цикла:

$$\min F_2(u), \quad (2.59)$$

где  $F_2$  – длительности операционного цикла фирмы.

Критерий эффективности определяется по формуле:

$$F_2(u) = F_1(u) + \frac{T}{R(u)} \left( u_4^0 + \frac{R(u) - g(u)}{2} \right), \quad (2.60)$$

где  $R$  – выручка за период;  $g$  – денежный поток от покупателей за период.

Поскольку выражение цикла (2.60) включает в себя аргументом в явном виде объем заказов материальных ресурсов  $u_1$ , представим функции нематериальных расходов, издержек и выручки также в зависимости от этого аргумента, что позволит свести задачу многомерной оптимизации к оптимизации функций одной переменной  $u_1$ . Для этого предположим наличие устойчивых взаимосвязанных трендов динамики объемов заказов на продукцию фирмы и объемов заказов ресурсов на различных стадиях производства в виде функций материалоемкости отгруженной продукции  $R(u_1), R'_{u_1}(u_1) > 0$ , материалоемкости денежного потока  $g(u_1), g'_{u_1}(u_1) > 0$ . Рассмотрим следующие модели этих трендов в виде степенных функций связи параметров управления и состояния фирмы

$$R(u_1) = B_R u_1^{\beta_R}, B_R > 0, 0 < \beta_R < 2, \quad (2.61)$$

$$g(u_1) = B_g u_1^{\beta_g}, B_g > 0, 0 < \beta_g < 2, \quad (2.62)$$

где  $B_R, B_g, \beta_R, \beta_g$  – коэффициенты регрессионных моделей, ограничение  $0 < \beta < 2$  наложено в связи с реальным характером эффекта расширения масштаба. Сформулируем задачу оптимизации заказов ресурсов по критерию операционного цикла:

$$u_{1(2)}^* = \arg \min_{u_1 \in U} F_2(u_1), \quad (2.63)$$

с учетом ограничений (2.21).

Определим механизм оптимального планирования заказов ресурсов по критерию минимума операционного цикла.

**Утверждение 6:** минимум длительности операционного цикла (2.60) при трендах (2.61)-(2.62) с учетом (2.26) и ограничения на соотношение темпов роста выручки и денежного потока от покупателей  $\beta_g < \beta_R + 1$ , достигается для не отрицательного аргумента  $u_{1F2}^* \geq 0$ , удовлетворяющего условиям

$$-\beta_c \frac{u_{\Sigma}^0}{B_c} + \frac{1-\beta_c}{2B_c} u_{1F2}^* + \frac{B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c) u_{1F2}^{*\beta_p} - \beta_R \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*-\beta_R+\beta_c} - \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) u_{1F2}^{*\beta_g-\beta_R+\beta_c} = 0, \quad (2.64)$$

$$u_{1F2}^* \in U_2 = \begin{cases} (\beta_g > \beta_R \cap \beta_g < \beta_R + 1) \forall u_{1F2}^*, \\ \beta_g \leq \beta_R \cap \varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_{1F2}^*) + \beta_R (\beta_R + 1) \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*-\beta_R-2} + \\ + \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) (\beta_R + 1 - \beta_g) u_{1F2}^{*\beta_g-\beta_R-2} > 0. \end{cases} \quad (2.65)$$

**Доказательство утверждения 6:** запишем необходимое условие оптимума (2.60)

$$F'_{2u_1}(u_1) = -\beta_c \frac{T u_{\Sigma}^0}{B_c} u_1^{-\beta_c-1} + \frac{T}{2B_c} (1-\beta_c) u_1^{-\beta_c} + \frac{T B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c) u_1^{\beta_p-\beta_c-1} - \beta_R \frac{T u_4^0}{B_R} u_1^{-\beta_R-1} - \\ - \frac{T B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) u_1^{\beta_g-\beta_R-1} = 0,$$

преобразуя которое

$$-\beta_c \frac{u_{\Sigma}^0}{B_c} u_{1F2}^{*-\beta_c-1} + \frac{1-\beta_c}{2B_c} u_{1F2}^{*-\beta_c} + \frac{B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c) u_{1F2}^{*\beta_p-\beta_c-1} - \beta_R \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*-\beta_R-1} - \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) u_{1F2}^{*\beta_g-\beta_R-1} = 0,$$

после деления на  $u_{1F2}^{*-\beta_c-1}$ , получим уравнение (2.34) для определения  $u_{1F2}^*$ .

Достаточное условие минимума (2.60)

$$F''_{2u_1}(u_1) = \beta_c (\beta_c + 1) \frac{u_{\Sigma}^0}{B_c} u_1^{-\beta_c-2} + \frac{\beta_c (\beta_c - 1)}{2B_c} u_1^{-\beta_c-1} + \frac{B_p}{2B_c} (\beta_p - \beta_c) (\beta_p - \beta_c - 1) u_1^{\beta_p-\beta_c-2} + \\ + \beta_R (\beta_R + 1) \frac{u_4^0}{B_R} u_1^{-\beta_R-2} - \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) (\beta_g - \beta_R - 1) u_1^{\beta_g-\beta_R-2} > 0,$$

преобразуем к виду

$$\varphi(\beta_c, \beta_p, u_{\Sigma}^0, u_{1F2}^*) + \beta_R (\beta_R + 1) \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*-\beta_R-2} + \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R) (\beta_R + 1 - \beta_g) u_{1F2}^{*\beta_g-\beta_R-2} > 0. \quad (D15)$$

Будем искать минимум операционного цикла на том же множестве параметров управления, что и минимум производственного цикла, то есть предположим выполнение достаточного условия (2.28)

$$\varphi(\beta_C, \beta_P, u_\Sigma^0, u_{1F2}^*) > 0. \quad (Д16)$$

В случае (Д16) неравенство (Д15) выполняется в следующих диапазонах значений темповых параметров бизнес-процесса фирмы и  $u_{1F2}^*$

$$\left\{ \begin{array}{l} (\beta_g > \beta_R \cap \beta_g > \beta_R + 1) \cap \varphi(\beta_C, \beta_P, u_\Sigma^0, u_{1F2}^*) + \beta_R(\beta_R + 1) \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*\beta_R-2} + \\ + \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R)(\beta_R + 1 - \beta_g) u_{1F2}^{*\beta_g - \beta_R - 2} \geq 0, \\ (\beta_g > \beta_R \cap \beta_g < \beta_R + 1) \forall u_{1F2}^*, \\ \beta_g \leq \beta_R \cap \varphi(\beta_C, \beta_P, u_\Sigma^0, u_{1F2}^*) + \beta_R(\beta_R + 1) \frac{u_4^0}{B_R} u_{1F2}^{*\beta_R-2} + \\ + \frac{B_g}{2B_R} (\beta_g - \beta_R)(\beta_R + 1 - \beta_g) u_{1F2}^{*\beta_g - \beta_R - 2} > 0. \end{array} \right. \quad (Д17)$$

С учетом темпового соотношения (2.26) в (Д17) реализуется второй и третий вариант в виде (2.36). ■

В характерных частных случаях уравнение (2.64) можно решить аналитически в виде следующих механизмов оптимизации заказов ресурсов по критерию длительности операционного цикла:

$$u_{1F2}^* = \frac{2(B_R \beta_C u_\Sigma^0 + B_C \beta_R u_4^0)}{B_g B_C (\beta_g - \beta_R) - B_R (1 - \beta_C) - B_P B_R (\beta_P - \beta_C)} \forall \beta_P \approx 1 \cap \beta_C \approx 1 \cap \beta_R \approx \beta_C \cap \beta_R \approx \beta_g, \quad (2.66)$$

$$u_{1F2}^* = \frac{2(B_R \beta_C u_\Sigma^0 + B_C \beta_R u_4^0) - B_P B_R (\beta_P - \beta_C)}{B_R (1 - \beta_C) - B_g B_C (\beta_g - \beta_R)} \forall \beta_P \ll 1 \cap \beta_C \approx \beta_R \cap \beta_g \approx 1. \quad (2.67)$$

Области применимости механизмов (2.66), (2.67), определим из условия  $u_{1F2}^* \geq 0$ , с учетом того, что числители этих выражений неотрицательны (для формулы (2.67) это следует из условия  $\beta_P < \beta_C$ ) в виде ограничений положительности знаменателей

$$B_g B_C (\beta_g - \beta_R) - B_R (1 - \beta_C) - B_P B_R (\beta_P - \beta_C) > 0, \quad (2.66a)$$

$$B_R (1 - \beta_C) - B_g B_C (\beta_g - \beta_R) > 0. \quad (2.67a)$$

Ограничение (2.67а) выполняется в случае замедленного роста издержек ( $\beta_C < 1$ ) и опережающего роста выручки над ростом денежного потока ( $\beta_R > \beta_g$ ), а также в случае  $\beta_R < \beta_g$ , но при условии  $B_R(1 - \beta_C) > B_g B_C |\beta_g - \beta_R|$ . Ограничение (2.66а) выполняется при противоположных соотношениях темповых параметров: при  $\beta_C > 1$  для случая  $\beta_R < \beta_g$ , а при  $\beta_C < 1$  в случае  $B_p B_R (\beta_p - \beta_C) > B_g B_C (\beta_g - \beta_R) + B_R (1 - \beta_C)$ .

Вариант (2.66) аналогичен рассмотренной выше комбинации случаев (2.29), (2.30) и характеризуется строгим соответствием объемов заказов ресурсов программе выпуска ( $\beta_C \approx 1$ ) при соблюдении нормативов нематериальных расходов ( $\beta_p \approx \beta_C \approx 1$ ) по отношению к темпу изменения общих издержек, а также нормативов производства продукции в соответствии с темпами роста спроса ( $\beta_R \approx \beta_C$ ); но, наряду с этим, бизнес-процесс фирмы отличается строгой платежно-расчетной дисциплиной покупателей, когда темп роста отгруженной продукции не существенно отличен от темпа роста денежного потока  $\beta_R \approx \beta_g$ . Вариант (2.67) соответствует производству с высокой материалоемкостью (как и в случае (2.32),  $\beta_p \ll 1$ ), в котором контролируется норматив выпуска продукции в соответствии с темпами роста спроса ( $\beta_R \approx \beta_C$ ), то есть не происходит значительного накопления товарных остатков ( $\beta_R < \beta_C$ ), а также отсутствует выраженная тенденция роста отпускных цен товаров, опережающего рост цен ресурсов ( $\beta_R > \beta_C$ ); кроме того, система снабжения фирмы скоординирована с динамикой денежного потока ( $\beta_g \approx 1$ ), что характерно для фирм, поставщики которых отпускают ресурсы на основе предварительной оплаты.

Поскольку из (2.66), (2.67) следует, что  $u_{1F2}^*$  по порядку величины близко к  $u_{\Sigma}^0 + u_4^0$ , то оптимум операционного цикла достигается при объеме заказов ресурсов, значительно превышающем средние остатки ресурсов.

Достаточное условие минимума длительности операционного цикла (2.65) соблюдается, в случае опережающего роста денежного потока по сравнению с

ростом выручки ( $\beta_R < \beta_g < \beta_R + 1$ ), а также если темп роста денежного потока не превышает темп роста отгруженной продукции ( $\beta_g \leq \beta_R$ ) при дополнительном ограничении, которое, введя упрощающие предположения, экономически описанные выше,  $\beta_P \approx \beta_C \approx 1$ ,  $\beta_R \approx \beta_g \approx 1$ , представим в виде неравенства

$$\beta_C(\beta_C - 1)[2u_{\Sigma}^0 + u_{1F2}^*] + B_P(\beta_P - \beta_C)(\beta_P - \beta_C - 1)u_{1F2}^* + \beta_R(\beta_R + 1)\frac{u_4^0}{B_R}u_{1F2}^{*-3} - \frac{B_g}{2B_R}(\beta_g - \beta_R)(\beta_g - \beta_R - 1)u_{1F2}^{*-2} > 0,$$

отсюда, пренебрегая несущественными слагаемыми (полагая

$$u_4^0 \cong u_{1F2}^*, u_{1F2}^{*-2} \ll u_{1F2}^*), \text{ получим}$$

$$u_{1F2}^* > -\frac{\beta_C(\beta_C - 1)2u_{\Sigma}^0}{\beta_C(\beta_C - 1) + B_P(\beta_P - \beta_C)(\beta_P - \beta_C - 1)},$$

которое при тех же условиях, что и достаточное условие минимума производственного цикла (2.28) ( $\beta_C > 1, \beta_P < \beta_C$ ) выполняется для неотрицательных аргументов  $u_{1F2}^* \geq 0$ .

Таким образом, механизмы оптимального планирования заказов ресурсов по критерию минимума операционного цикла (2.66), (2.67) определяют решение задачи (2.59) в практически важных ситуациях.

## 2.6. Механизм максимизации прибыли и комплексной оптимизации

Рассматривается задача оптимального планирования заказов производственных ресурсов в бизнес-процессе фирмы по критерию, характеризующему финансовую эффективность:

$$\max F_3(u), \tag{2.68}$$

где  $F_3$  – прибыль фирмы.

Критерии эффективности определяется по формуле:

$$F_3(u) = R(u) - C(u) \tag{2.69}$$

Сформулируем задачу оптимизации заказов ресурсов по финансовому критерию

$$u_{1(3)}^* = \arg \max_{u_1 \in U} F_3(u_1) \tag{2.70}$$

Определим механизм оптимального планирования заказов ресурсов по критерию максимума прибыли.

**Утверждение 7:** максимум прибыли (2.69) при трендах (2.60), (2.61) достигается при неотрицательном значении аргумента  $u_{1F3}^* \geq 0$ , удовлетворяющим условиям

$$u_{1F3}^* = \left( \frac{B_R \beta_R}{B_C \beta_C} \right)^{\frac{\beta_R - 1}{\beta_C - 1}}, \quad (2.71)$$

$$u_{1F3}^* \in U_3 = \begin{cases} \beta_C > 1 \cap \left\{ \left( \beta_R > 1 \cap \frac{B_R (\beta_R - 1) \beta_R}{B_C (\beta_C - 1) \beta_C} < u_{1F3}^{\frac{\beta_C - 2}{\beta_R - 2}} \right) \cup (\beta_R < 1 \cap u_{1F3}^* > 0) \right\}, \\ \beta_C < 1 \cap \left\{ \left[ \beta_R < 1 \cap \frac{B_R (\beta_R - 1) \beta_R}{B_C (\beta_C - 1) \beta_C} > u_{1F3}^{\frac{\beta_C - 2}{\beta_R - 2}} \right] \cup [\beta_C < 1 \cap \beta_R > 1] \right\}. \end{cases} \quad (2.72)$$

Анализ механизма оптимизации прибыли фирмы показывает, что оптимум прибыли  $u_{1F3}^*$  возрастает с увеличением коэффициентов регрессии выручки  $B_R, \beta_R$  и снижается с ростом коэффициентов регрессии издержек  $B_C, \beta_C$ . Сравнение этих тенденций с механизмами оптимизации циклов фирмы приводит к следующим выводам: из механизмов (2.29)-(2.32) следует, что с увеличением темпа регрессии издержек  $\beta_C$  оптимум производственного цикла растет, а параметры  $B_C, B_R, \beta_R$  на этот оптимум не влияют, то есть критерии прибыли и производственного цикла противоречивы по  $\beta_C$ ; механизмы (2.66), (2.67) показывают, что оптимум операционного цикла опережающим образом растет с увеличением темпа регрессии издержек  $\beta_C$  даже на фоне роста  $\beta_R$  (поскольку  $u_{\Sigma}^0 \gg u_4^0$ ), поэтому критерии прибыли и операционного цикла противоречивы по  $\beta_C$ . Следовательно, изменение эндогенной функции издержек фирмы оказывает противоречивое влияние на финансовый и временные критерии бизнес-процесса.

Поскольку в механизме (2.71) коэффициенты регрессий  $B_R, B_C$  и  $\beta_R, \beta_C$  есть величины соответственно одного порядка, то максимизирующее прибыль значение  $u_{1F3}^*$  должно быть не велико.

Достаточное условие максимума прибыли для случая  $\beta_C < 1$ , при котором анализировались достаточные условия минимума циклов, приводит к выводу, что, максимум прибыли достигается практически при любом неотрицательном значении аргумента  $u_{1F3}^* \geq 0$ , поскольку из (2.72) следует, что должно выполняться условие замедленного по сравнению с нарастанием заказов темпа роста выручки ( $\beta_R < 1$ ), а также неравенство

$$u_{1F3}^{\frac{\beta_C - 2}{\beta_R - 2}} > \frac{B_R(\beta_R - 1)\beta_R}{B_C(\beta_C - 1)\beta_C},$$

в котором  $\frac{\beta_C - 2}{\beta_R - 2} \approx 1$ ,  $\frac{B_R(\beta_R - 1)\beta_R}{B_C(\beta_C - 1)\beta_C} \approx 1$ , так как соответствующие коэффициенты регрессий являются величинами одного порядка. В случае  $\beta_C < 1$  значение  $u_{1F3}^*$ , соответствующее условию (2.72), должно быть порядка единицы, что для реальных фирм равносильно закрытию, поэтому данный случай в дальнейшем не рассматривается.

**Доказательство утверждения 7:** для выражения прибыли

$$F_3(u_1) = B_R u_1^{\beta_R} - B_C u_1^{\beta_C}, \quad (Д18)$$

полученного подстановкой регрессионных зависимостей в (2.69) запишем необходимое условие оптимума

$$F_{3u_1}'(u_1) = B_R \beta_R u_1^{\beta_R - 1} - B_C \beta_C u_1^{\beta_C - 1} = 0, \quad (Д19)$$

откуда выразим (2.71). Достаточное условие максимума (Д18)

$$F_{3u_1}''(u_1) = B_R(\beta_R - 1)\beta_R u_1^{\beta_R - 2} - B_C(\beta_C - 1)\beta_C u_1^{\beta_C - 2} < 0,$$

выполняется при условиях (2.72). ■

**Утверждение 8:** механизмы

$$u_{1(k)}^* = \min \left\{ \max \left\{ u_{1Fk}^*, u_1^{\min}(N), u_1^{\min}(z) \right\}, u_1^{\max}(N) \right\}, k = 1, 2, 3 \quad (2.73)$$

являются решениями задачи оптимизации (2.70) при ограничении (2.65), если

$$U_k \cap U \neq \emptyset, k = 1, 2, 3. \quad (2.74)$$

Механизм (2.73) определяет единственное решение из области компромисса для противоречивых, в общем случае, критериев минимизации производственного цикла, операционного цикла, критерия максимизации прибыли.

**Доказательство утверждения 8:** запишем функцию Лагранжа для задач (2.6), (2.59), (2.68) при ограничении (2.71)

$$L_k = F_k(u_1) + \lambda_{1k}(u_1^{\min}(N) - u_1) + \lambda_{2k}(u_1^{\max}(N) - u_1) + \lambda_{3k}(u_1^{\min}(z) - u_1), k = 1, 2, 3, \quad (Д20)$$

дифференцируя которую, получим систему необходимых условий оптимальности

$$\frac{\partial L_k}{\partial u_1} = \frac{\partial F_k(u_1)}{\partial u_1} - \lambda_{1k} - \lambda_{2k} - \lambda_{3k} = 0, \quad (Д21)$$

$$\frac{\partial L_k}{\partial \lambda_{1k}} = u_1^{\min}(N) - u_1 \leq 0, \frac{\partial L_k}{\partial \lambda_{2k}} = u_1^{\max}(N) - u_1 \geq 0, \quad (Д22)$$

$$\frac{\partial L_k}{\partial \lambda_{3k}} = u_1^{\min}(z) - u_1 \leq 0, k = 1, 2, 3.$$

При выполнении (Д22) как строгих неравенств решением системы (Д21), (Д22) будет вектор множителей Лагранжа  $\lambda_{1k} = \lambda_{2k} = \lambda_{3k} = 0$ , следовательно, из (Д21) следуют необходимые условия оптимальности  $\frac{\partial F_k(u_1)}{\partial u_1} = 0, k = 1, 2, 3$ , запи-

санные в формах (2.27), (2.34), (2.71) для определения оптимумов критериев без ограничений  $u_{1fk}^*, k = 1, 2, 3$ , то есть при этом  $u_{1(k)}^* = u_{1fk}^*, k = 1, 2, 3$ . В случае выполнения какого либо из условий (Д22) как строгих равенств решением системы (Д21), (Д22) будет параметр управления, удовлетворяющий условиям

$$u_1 = u_1^{\min}(N) \cup u_1 = u_1^{\max}(N) \cup u_1 = u_1^{\min}(z), \quad (Д23)$$

которые формально запишем в виде (2.73). Достаточные условия экстремумов в задачах (2.6), (2.59), (2.68) при ограничении (2.71) выполняются, если достаточные условия (2.28), (2.65), (2.72) определяют диапазоны  $u_{1fk}^* \in U$ . ■

## 2.7. Выводы к главе 2

Разработаны модели статической и динамической оптимизации производственных циклов промышленных фирм с учетом ограничений, обуслов-

ленных объемами заказов покупателей и ценовой политикой поставщиков материалов.

Статическая однопериодная модель позволяет определить объем закупок ресурсов, оптимизирующий производственный цикл, но не учитывает вариаций производственной программы, возникающих вследствие неритмичности поступления заказов покупателей в течение периода (года), обуславливающих колебания остатков ресурсов, что обуславливает необходимость разработки динамической модели. Статическая модель, основанная на предположении о независимости производственных расходов от динамики остатков ресурсов, базируется на прогнозах производственных издержек фирмы в зависимости от объемов заказов ресурсов по ретроспективной информации и адекватна при стабильном уровне остатков ресурсов в динамике.

Динамическая модель производственного цикла базируется на прогнозах производственных издержек от вариаций заказов и остатков ресурсов, при этом понижение достоверности моделирования вследствие увеличения числа прогнозируемых переменных компенсируется адекватным учетом особенностей динамики производственного процесса. Модель позволяет путем последовательной оптимизации по подпериодам планового периода сформировать программу заготовления ресурсов, скоординированную с динамикой выпуска продукции.

Анализ оптимальных механизмов приводит к следующим выводам. В практически значимых случаях сопоставимых темпов роста нематериальных расходов и себестоимости, а также темпов роста денежного потока и выручки, существуют значения объемов заказов материалов, минимизирующие длительность бизнес-циклов фирмы. Аргументы оптимумов бизнес-циклов достаточно велики по сравнению со средним уровнем остатков материальных ресурсов, поэтому в реальном диапазоне изменения объема заказов ресурсов длительность циклов убывает с ростом этого показателя. Следовательно, с точки зрения временных критериев оптимальности для фирмы целесообразно наращивать объем заказов ресурсов. Также для практически реализуемых соотношений темпов

роста издержек и выручки существует объем заказов ресурсов, максимизирующий прибыль фирмы, причем аргумент оптимума прибыли, как правило, существенно меньше аргументов оптимумов циклов. Поэтому с позиции финансового критерия фирма также заинтересована в повышении объемов заказов ресурсов, а в целом по комплексу временных и финансовых критериев допустимый диапазон изменения объемов заказов ограничен наименьшим из аргументов оптимумов прибыли и циклов. Следовательно, состояние противоречивости критериев наступает только при объемах заказов, превышающих аргумент оптимума прибыли, когда встает необходимость анализа множества Парето. В остальных случаях выбор оптимального по комплексу критериев объема заказов ресурсов определяется на основе сравнительного анализа оптимумов критериев и ограничений по уровню заказов покупателей и по ценовым функциям поставщиков.

### **Глава 3. «Формирование оптимальной производственной программы на основе применения оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов (на примере ООО «Завод приборных подшипников», ОАО «Самарский подшипниковый завод»))»**

Экономико-математическое моделирование и оптимизация производственной программы предприятия нацелены на формирование оптимальной номенклатуры выпуска и обеспечение одной или нескольких наиболее важных с экономической точки зрения целей (максимизации валовой прибыли, максимизации объема реализованной продукции, минимизации совокупной себестоимости, максимизации использования мощностей предприятия). Определение оптимальных механизмов планирования заказов ресурсов по каждому критерию, а также механизма решения задачи оптимизации по комплексу критериев позволяет эффективно решить задачу оптимизации по критериям прибыли и бизнес-циклов, адекватную в условиях действия устойчивых нелинейных трендов издержек, выручки, денежного потока и цен ресурсов в зависимости от объема их закупок.

#### **3.1. Статическое моделирование производственного цикла**

Сформируем модель (2.6)-(2.12) на основе ретроспективной информации о квартальной динамике технико-экономических показателей ОАО «Самарский подшипниковый завод» за период 2011-2015 гг. Графический анализ (рис. 3.1) показывает целесообразность определения регрессионных зависимостей (2.7), (2.8), (2.11) в форме степенных функций вида:

$$P(u_1) = A_1 u_1^\alpha, C(u_1) = A_2 u_1^\beta, p_1(u_1) = D_1 u_1^{b_1}, p_2(u_1) = D_2 u_1^{b_2}, \quad (3.1)$$

где  $A_1, A_2, D_1, D_2, \alpha, \beta, b_1, b_2$  – коэффициенты регрессионных зависимостей.

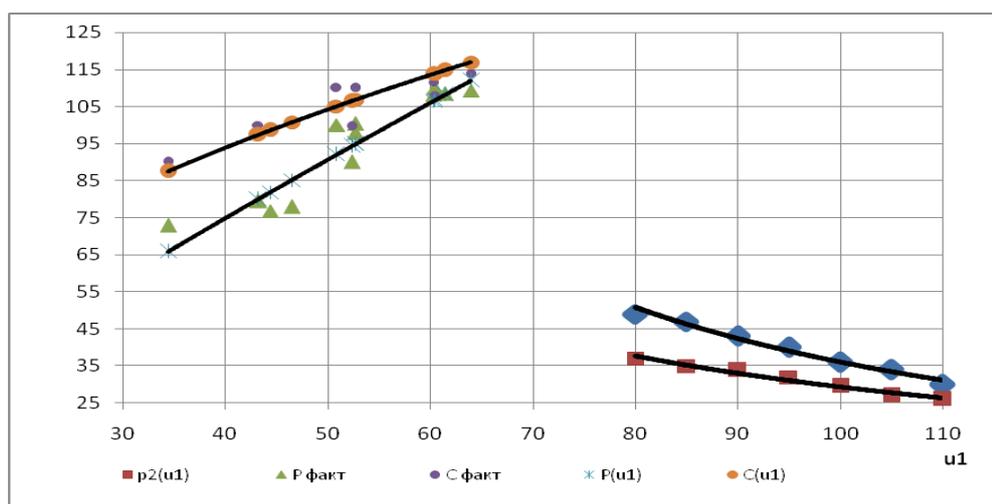


Рисунок 3.1 - Динамика изменения производственных расходов, себестоимости реализованной продукции, закупочных цен шарикоподшипниковой стали  $p_1$ , нержавеющей стали  $p_2$  (за тонну) в 2013- 2015 гг., млн. руб.

Подставив регрессии (3.1) в (2.6), получим:

$$F_1(u) = \frac{T(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0)}{A_2 u_1^\beta} + \frac{T}{2} \cdot \left( \frac{u_1^{1-\beta} + A_1 \cdot u_1^{\alpha-\beta}}{A_2} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Исходя из необходимого и достаточного условий оптимальности цикла

$$F_1'(u) = \frac{T(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0)}{A_2} \cdot (-\beta) \cdot u_1^{-\beta-1} + \frac{T}{2A_2} \cdot (1-\beta) \cdot u_1^{-\beta} + \frac{TA_1}{2A_2} \cdot (\alpha-\beta) \cdot u_1^{\alpha-\beta-1} = 0,$$

$$F_1''(u) = \frac{T(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0)}{A_2} \cdot (-\beta) \cdot (-\beta-1) u_1^{-\beta-2} + \frac{T}{2A_2} \cdot (1-\beta) \cdot (-\beta) u_1^{-\beta-1} + \frac{TA_1}{2A_2} \cdot (\alpha-\beta) \cdot (\alpha-\beta-1) u_1^{\alpha-\beta-2} > 0,$$

определим значение  $u_{1F1}^*$ , минимизирующее длительность производственного цикла без учета ограничений (2.9), (2.10) из следующего уравнения:

$$u_{1F1}^* \cdot (1-\beta) + A_1(\alpha-\beta)(u_{1F1}^*)^\alpha = 2\beta(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0) \quad (3.3)$$

В частном, но характерном для промышленных предприятий случае прямой пропорциональности производственных расходов материальным затратам ( $\alpha \approx 1$ ) из (3.3) следует:

$$u_{1F1}^* = \frac{2\beta(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0)}{(1-\beta)(1+A_1)}$$

Анализ достаточного условия оптимальности показывает, что для достижения условия

$F_1'' > 0$  выполняется в одном из следующих случаев:

$$\begin{cases} \alpha > \beta \cap \alpha > \beta + 1 \\ \alpha < \beta \cap \alpha < \beta + 1 \\ \alpha > \beta \cap \alpha < \beta + 1 \end{cases}$$

Для выполнения условия  $\alpha > \beta \cap \alpha > \beta + 1$  темп роста  $P(u)$  должен значительно опережать темп роста  $C(u)$ , что невозможно при наличии непроизводственных расходов. Случай, когда выполняется условие  $\alpha < \beta \cap \alpha < \beta + 1$ , является наиболее характерным. При  $\alpha > \beta \cap \alpha < \beta + 1$  должно выполняться условие

$$(u_1^0 + u_2^0 + u_3^0)\beta(\beta + 1) > |A_1(\alpha - \beta)(\alpha - \beta - 1)u_1^\alpha|, \quad (3.4)$$

что характерно для предприятий производства подшипников с большой продолжительностью циклов, имеющих вследствие этого значительные запасы ТМЦ.

Необходимое условие минимума суммарных производственных расходов

$$P'_{\sum u_i}(u) = D_i \cdot (1 + b_i) \cdot u_i^{b_i} + A_1 \cdot \alpha \cdot \left( \sum_{i=1}^I u_i \right)^{\alpha-1} = 0, \quad i = 1, \dots, I$$

позволяет найти оптимальное значение заказа  $i$ -го материала с учетом влияния функций предложения поставщиков из следующей системы уравнений:

$$u_1^{F \min} = \left[ \frac{A_1 \cdot \alpha \cdot \left( \sum_{i=1}^I u_i^{\min} \right)^{\alpha-1}}{(1 + b_i) \cdot D_i} \right]^{\frac{1}{b_i}}, \quad i = 1, \dots, I, \quad (3.5)$$

а анализ достаточного условия

$$P''_{\sum u_i}(u) = D_i \cdot (1 + b_i) \cdot b_i \cdot u_i^{b_i-1} + A_1 \cdot \alpha \cdot (\alpha - 1) \left( \sum_{i=1}^I u_i \right)^{\alpha-2} > 0, \quad i = 1, \dots, I$$

показывает, что минимум  $P_{\Sigma}(u)$  имеет место при соотношении

$$b_i < -1 \cap \left| D_i (1 + b_i) b_i u_i^{b_i-1} \right| > \left| A_1 \cdot \alpha \cdot (\alpha - 1) \left( \sum_{i=1}^I u_i \right)^{\alpha-2} \right|, \quad (3.6)$$

выполнение которого соответствует высокоэластичной кривой предложения поставщиков материалов. При невыполнении условия (3.6) ограничение (2.10) не играет роли, поскольку функция предложения поставщиков неэластична.

С учетом ограничений (2.9), (2.10) решение модели (2.6)-(2.12) имеет следующий общий вид:

$$u_{1F1}^* = \begin{cases} u_1^{F \min}, & \text{если } u_1^{F \min} \geq u_1^{\min}(N), u_1^{F \min} \geq u_1^{\min}(p), \\ u_1^{\min}(N), & \text{если } u_1^{\min}(N) \geq u_1^{F \min}, u_1^{\min}(N) \geq u_1^{\min}(p), \\ u_1^{\min}(p), & \text{если } u_1^{\min}(p) \geq u_1^{F \min}, u_1^{\min}(p) \geq u_1^{\min}(N). \end{cases} \quad (3.7)$$

Оценка параметров регрессий (3.1) алгоритмом метода наименьших квадратов, реализованным в процессоре Excel, позволила получить следующие уравнения:

$$P(u_1) = 8,35u_1^{0,86}, \quad C(u_1) = 657u_1^{0,47}, \quad p_1(u_1) = 205,1u_1^{-0,31}, \quad p_2(u_1) = 104,8u_1^{-0,23}. \quad (3.8)$$

Анализ статистических оценок (коэффициента детерминации, превышающего значение 0,98, и критерия Фишера, существенно превышающего критический уровень) подтверждает достоверность и адекватность сформированных моделей.

На рис. 3.2 представлены зависимость продолжительности цикла (3.2) от объема заказа материалов, рассчитанная с учетом коэффициентов регрессий (3.8), в которых коэффициенты  $A_1, A_2$  приведены к среднегодовым значениям, а также предел ограничения (2.9); при этом ограничение (2.10) не учитывается в силу условия (3.6). По механизму (3.7) значение  $u_1^{F \min} = 189103$  тыс.руб. оптимизирует критерий (3.2), достигающий при этом значения  $F[u_1^{F \min}] = 280$  дней, поскольку  $u_1^{\min}(N) = 213554$  тыс. руб.,  $F[u_1^{\min}(N)] = 281$  дня; при этом условие (3.4) выполняется. По сравнению с показателем объема заказа материалов, достигну-

тым в 2015 г. (216537 тыс. руб.), при котором продолжительность производственного цикла составляла 286 дней, оптимизация привела к сокращению средних сроков производства продукции (на 6 дней).

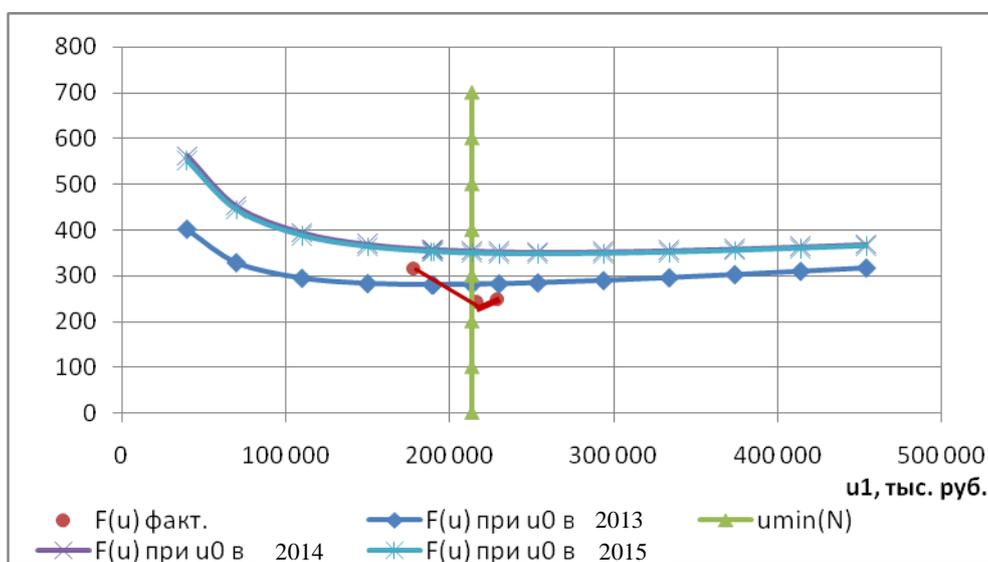


Рисунок 3.2 – Расчетные и фактические (при объемах заказов в 2013-2015 гг.) значения производственного цикла, дней

### 3.2. Динамическое моделирование производственного цикла

Сформируем модели трендов нематериальных расходов и себестоимости (2.15), (2.16) и (2.52), (2.53) на основе данных о квартальной динамике соответствующих показателей ОАО «Самарский подшипниковый завод» и ОАО «Завод приборных подшипников» за 2012-2015 гг. с использованием алгоритма метода наименьших квадратов. Для уравнений регрессий (2.37) были получены следующие уравнения по методу наименьших квадратов:

$$P(u_1) = 8585u_1^{0,3}, \quad C(u_1) = 45u_1^{0,76}, \quad P_t(u_{1t}) = 92,6u_{10}^{0,08}u_1^{0,56}, \quad C_t(u_{1t}) = 0,6u_{10}^{0,27}u_1^{0,76}. \quad (3.9)$$

Анализ динамических рядов цен и объемов поставок основных материалов, используемых фирмами подтвердил правомерность гипотезы (2.17) об убывающих ценовых трендах и позволил сформировать однофакторные регрессии в виде:

$$z_1(u_1^1) = 205u_1^{-0,3}, \quad z_2(u_1^2) = 105u_1^{-0,2} \quad (3.10)$$

Сформированные регрессии адекватны и достоверны в соответствии с оценками коэффициента детерминации, превышающего значение 0,93, и критерия Фишера, существенно превышающего критическое значение при уровне значимости 5%.

Анализ (2.50) показывает, что производственные расходы зависят от остатков НЗП и материальных затрат в подпериоде, а на себестоимость реализованной продукции с относительной значимостью 0,27 и 0,76 влияют остатки и выпуск готовой продукции соответственно, то есть выполняется условие постоянной отдачи от расширения масштаба производства  $\beta_2 + \beta_3 \approx 1$ . Поскольку  $\alpha_2 \approx 0, \alpha_3 < 1, -1 < b_1 < 0$ , то условие (2.46) не выполняется, следовательно ограничение (2.39) и (2.45) не учитываются.

На рис. 3.3 представлены кривая производственного цикла  $F_1(u)$ , рассчитанная по формуле (2.14) с учетом регрессий (3.9); также отмечено ограничение (2.18) в виде  $u_1^{\min}(N)$ , а ограничение (2.19) не показано, поскольку на рынке ресурсов выявлены низкоэластичные ценовые кривые (3.10), при которых ввиду условия (2.24) данное ограничение не играет роли; показаны фактические значения критерия, реализовавшиеся в 2015г. В соответствии с механизмом (2.34) решением задачи (2.20),(2.21) является значение  $u_1 = u_1^{\min}(N)$ , при котором продолжительность цикла ниже, чем фактические данные 2015г. Общий экономический эффект при иммобилизации прибыли в запасах может составить 5,8 млн. руб.

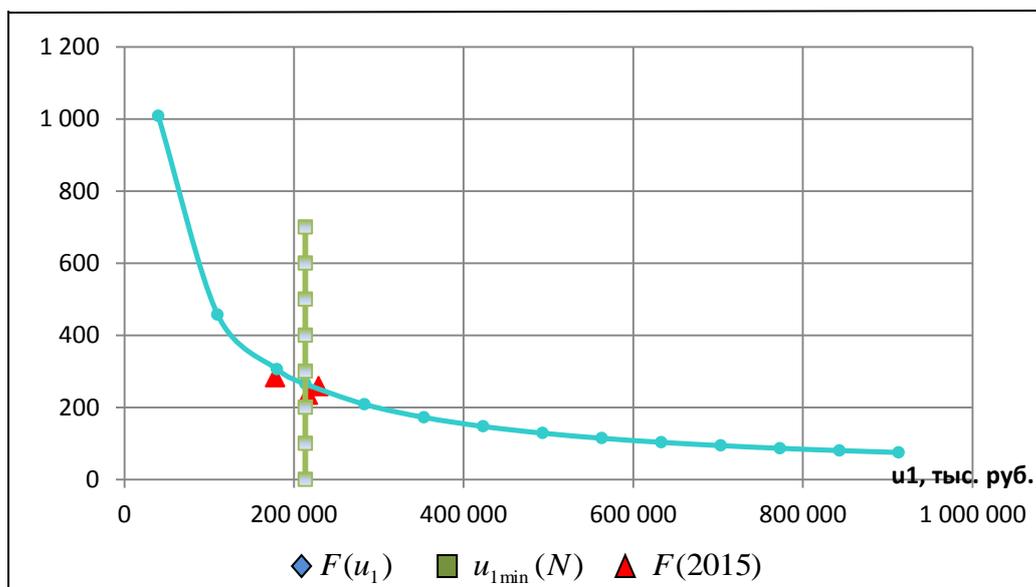


Рисунок 3.3 - Расчетные и фактические (при объемах заказов в 2015 г.) значения производственного цикла (дни), ограничение по нормативу потребности ресурсов в зависимости от объема заказов покупателей (тыс. руб.)

Динамическая оптимизация производственного цикла осуществляется в следующей последовательности. На основе значений остатков ресурсов на начало периода (равных соответствующим остаткам на конец предыдущего периода), а также прогноза объема заказов показателей на  $t$ -й подпериод (при  $t=1, \dots, \tau$ ) рассчитываются граничные значения ограничений (2.55) и определяется оптимальное значение заказа по механизму (2.58). Затем производится расчет остатков ресурсов на конец  $t$ -го подпериода по формулам (2.51), после чего повторяется расчет объем заказов для  $(t+1)$ -го подпериода.

Таблица 3.1 – Результаты динамической оптимизации производственного цикла ОАО «Самарский подшипниковый завод» на 2015 г. (тыс. руб.)

t	$u_{1t}^0$ началь- ный остаток ПЗ, тыс.руб.	$u_{2t}^0$ началь- ный остаток НЗП, тыс.руб.	$u_{3t}^0$ началь- ный остаток ГП, тыс.руб.	$u_{1t}$ размер ПЗ за период, тыс.руб.	$u_{2t}$ раз- мер НЗП за пе- риод, тыс.р уб.	$u_{3t}$ размер ГП за период, тыс.руб.	$P_t(u)$ про- извод- ствен- ные рас- ходы, тыс.ру б.	$C_t(u)$ себе- стои- мость, тыс.руб	$F_t(u)$ , дней дли- тель- ность цикла, дни
1	120 003	57 057	156 440	41 155	51 443	121 572	71 681	118 750	54
2	109 715	58 609	159 262	38 514	48 142	113 379	66 219	122 859	56
3	100 086	59 591	149 782	35 461	44 327	91 754	72 645	113 517	69
4	91 221	84 809	128 019	40 309	50 386	106 485	73 257	117 383	67
Фактическая длительность производственного цикла за 2015 г., дни									286
Длительность производственного цикла для 2015 г. по динамической модели, дни									246

Результаты оптимизации (табл. 2) выражают сокращение длительности производственного цикла, произошедшее за счет уменьшения объемов заказов и соответствующего снижения остатков ресурсов по кварталам планового года, а также суммарно за год с 286 до 246 дней. По сравнению с результатами статического моделирования плана на 2014 г. длительность цикла при динамическом моделировании ниже на 34 дня, что показывает значимость учета динамических факторов при формировании планов производственных заказов.

### 3.3. Моделирование оптимальных механизмов

Сформируем модели (2.15), (2.16), (2.61), (2.62) на основе ретроспективной информации о квартальной динамике технико-экономических показателей ООО «Завод приборных подшипников» [71,72] за период 2013-2015 гг.

На основе динамических рядов параметров управления  $u_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, 3$  и параметров состояния  $P(t)$ ,  $C(t)$ ,  $R(t)$ ,  $g(t)$  (где  $t$  - номер квартала) рассчитаем коэффициенты парной корреляции (табл. 3.2), анализ которых приводит к следующим выводам. Имеется выраженная (по шкале Чеддока [51] коэффициент корреляции не более 0,7) связь между параметрами  $u_2$  и  $u_1$ ,  $u_3$  и  $u_2$ , подтверждающая выдвинутую гипотезу о наличии устойчивых трендов изменения объемов заказов на последовательных стадиях бизнес-процесса фирмы (рис. 3.4, рис. 3.5) и позволяющая сформировать задачи одномерной оптимизации (2.20), (2.63), (2.70), поскольку видна также тесная корреляционная связь параметров состояния  $P$ ,  $C$ ,  $R$ ,  $g$  и параметра  $u_3$ .

Поэтому сформируем регрессии (2.15), (2.16), (2.61), (2.62) на основе следующих вспомогательных функций:

$$\begin{aligned} u_3(u_2) &= A_{u_3} u_2^{\alpha_{u_3}}, \quad u_2(u_1) = A_{u_2} u_1^{\alpha_{u_2}}, \quad P(u_3) = A_P u_3^{\alpha_P}, \quad C(u_3) = A_C u_3^{\alpha_C}, \quad g(u_4) = A_g u_4^{\alpha_g}, \\ R(u_3) &= A_{u_4} u_3^{\alpha_{u_4}}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Определение коэффициентов регрессий (3.11) методом наименьших квадратов позволило получить функции, адекватно описывающие фактические временные ряды (коэффициент детерминации свыше 0,9). На основе (3.11) получим регрессии (2.15) – (2.17), (2.61) – (2.62), преобразовав их к годовым показателям с учетом  $B_{T(k)} = B_{t(k)} \cdot 4^{1-\beta_{t(k)}}$  (где  $k = P, C, R, g$ , индекс « $T$ » обозначает годовое значение):

$$P(u_1) = 8585u_1^{0,3}, \quad C(u_1) = 45u_1^{0,76}, \quad g(u_1) = 144u_1^{0,7}, \quad R(u_1) = 151u_1^{0,7}. \quad (3.12)$$

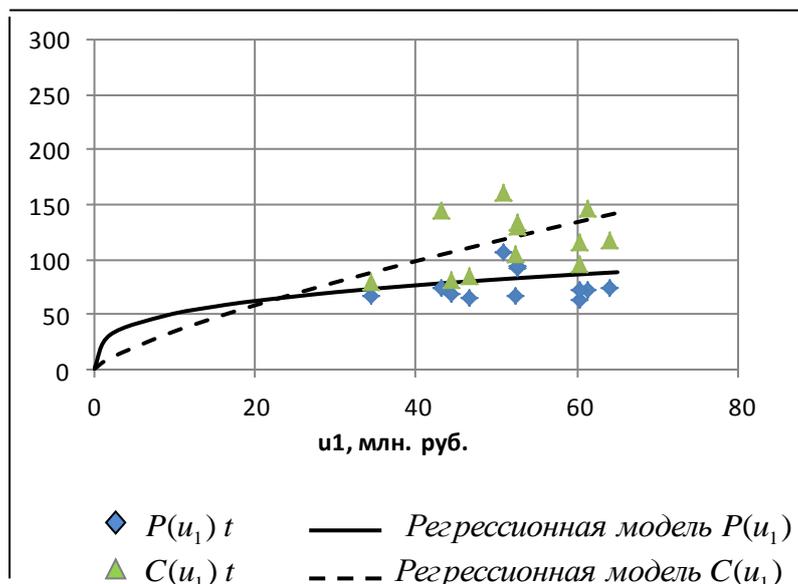


Рисунок 3.4 - Динамика изменения производственных расходов и себестоимости в 2013- 2015 гг., млн. руб.

Таблица 3.2 – Матрица коэффициентов корреляции параметров управления и состояния

Показатель, тыс. руб.	u1	u2	u3	R (u4)	C	P	g
u1		0,80	0,35	0,51	0,35	0,06	0,51
u2			0,71	0,68	0,62	0,30	0,61
u3				0,89	0,93	0,77	0,83
R (u4)					0,93	0,69	0,94
C						0,71	0,89
P							0,61
g							

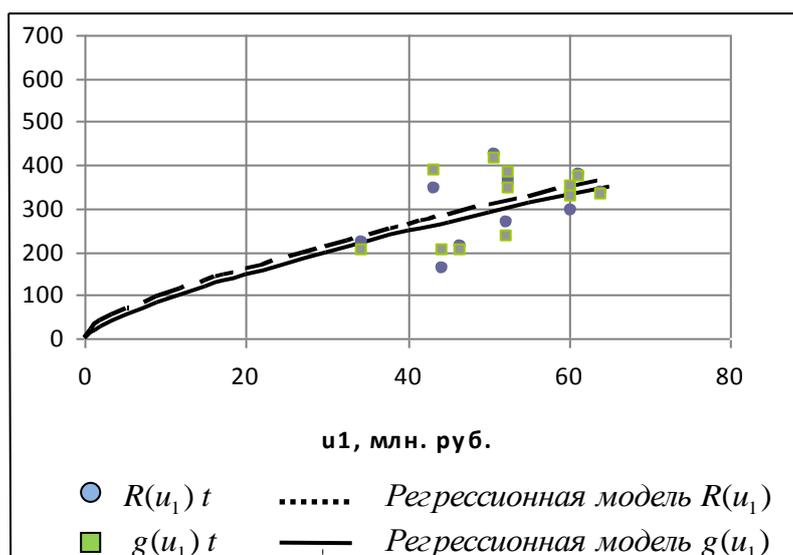


Рисунок 3.5 - Динамика изменения выручки от реализации и денежного потока в 2013- 2015 гг., млн. руб.

Анализ динамических рядов цен и объемов поставок основных материалов, используемых фирмой подтвердил правомерность гипотезы об убывающих ценовых трендах и позволил сформировать однофакторные регрессии в виде:

$$z_1(u_1^1) = 205u_1^{-0.3}, \quad z_2(u_1^2) = 105u_1^{-0.2}. \quad (3.13)$$

На рис. 3.6 представлены фактические значения цен материалов и параметров состояния бизнес-процесса фирмы, а также регрессионные модели (41), (42), имеющие характерную нелинейную динамику, видно соответствие регрессионных моделей фактической динамике закупочных цен металлов.

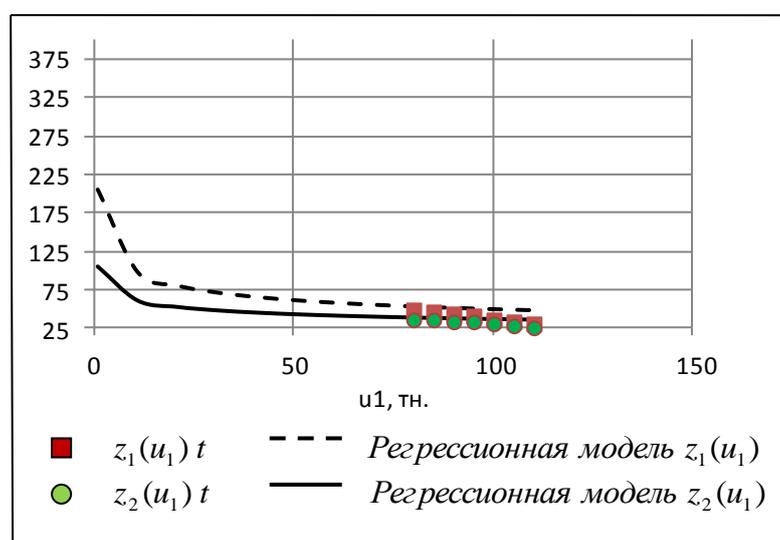


Рисунок 3.6 - Динамика изменения закупочных цен металлов ООО «ЗПП» в 2013- 2015 гг., т.

В таблице 3.3 представлены результаты анализа точности приближенных механизмов (2.29)-(2.31), по которым вычислены значения  $u_{1F1}^*$  (млн. руб.) и относительные отклонения  $\Delta$  (%) от точных значений по формуле (2.27). Погрешность формул (2.29)-(2.31) убывает, либо не меняется с увеличением начальных остатков ресурсов  $u_{\Sigma}^0$  (млн.руб.) и коэффициента регрессии издержек  $\beta_c$ , не превышая 18,73% на границах диапазона практически реализуемых значений. В данной таблице не представлены результаты анализа точности механизма (2.32) в связи с отсутствием положительных значений  $u_{1F1}^*$  при заданных коэффициентах регрессий.

Таблица 3.3 – Анализ оптимальных механизмов модели (2.20)

$u_{\Sigma}^0$	$\beta_P = 1, \beta_C = 0,93$			$\beta_P = 1, \beta_C = 0,95$		
	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(27)$	$\Delta, \%$	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(27)$	$\Delta, \%$
100 000	91 626	94 898	3,57%	131 034	135 714	3,57%
200 000	183 251	189 796	3,57%	262 069	271 429	3,57%
300 000	274 877	284 694	3,57%	393 103	407 143	3,57%
$u_{\Sigma}^0$	$\beta_P = 0,45, \beta_C = 0,35$			$\beta_P = 0,4, \beta_C = 0,3$		
	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(28)$	$\Delta, \%$	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(28)$	$\Delta, \%$
100 000	106 903	107 692	0,74%	85 339	85 714	0,44%
200 000	214 305	215 385	0,50%	170 933	171 429	0,29%
300 000	321 781	323 077	0,40%	256 560	257 143	0,23%
$u_{\Sigma}^0$	$\beta_P = 0,88, \beta_C = 0,7$			$\beta_P = 0,9, \beta_C = 0,75$		
	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(29)$	$\Delta, \%$	$u_{1F1}^*(25)$	$u_{1F1}^*(29)$	$\Delta, \%$
100 000	88 329	104 869	18,73%	94 605	101 124	6,89%
200 000	190 220	209 738	10,26%	201 581	202 247	0,33%
300 000	297 739	314 607	5,67%	313 657	303 371	-3,28%

В таблице 3.4 представлены результаты анализа точности приближенных механизмов (2.66)-(2.67), по которым вычислены значения  $u_{1F1}^*$  (млн. руб.) и относительные отклонения  $\Delta$  (%) от точных значений по формуле (2.34).

Таблица 3.4 – Анализ оптимальных механизмов модели (2.63)

$u_{\Sigma}^0$	$u_4^0$	$\beta_P = 0,96, \beta_C = 0,83,$ $\beta_R = 0,78, \beta_g = 0,83$			$\beta_P = 1, \beta_C = 0,92,$ $\beta_R = 0,9, \beta_g = 0,9$		
		$u_{1F1}^* (32)$	$u_{1F1}^* (34)$	$\Delta, \%$	$u_{1F1}^* (32)$	$u_{1F1}^* (34)$	$\Delta, \%$
100 000	50 000	100 092	83 230	-16,85%	94 241	91 184	-3,24%
200 000	100 000	204 944	166 461	-18,78%	188 900	182 368	-3,46%
300 000	200 000	334 820	260 156	-22,30%	299 048	285 426	-4,56%
$u_{\Sigma}^0$	$u_4^0$	$\beta_P = 0,1, \beta_C = 1,25,$ $\beta_R = 0,9, \beta_g = 0,8$			$\beta_P = 0,05, \beta_C = 1,1,$ $\beta_R = 0,99, \beta_g = 0,91$		
		$u_{1F1}^* (32)$	$u_{1F1}^* (35)$	$\Delta, \%$	$u_{1F1}^* (32)$	$u_{1F1}^* (35)$	$\Delta, \%$
100 000	50 000	106 527	130 029	22,06%	110 116	106 710	-3,09%
200 000	100 000	237 021	260 042	9,71%	222 815	213 407	-4,22%
300 000	200 000	519 236	402 960	-22,39%	378 115	333 022	-11,93%

Погрешность формул (2.66)-(2.67) убывает с увеличением начальных остатков ресурсов  $u_{\Sigma}^0$  (млн.руб.), остатков дебиторской задолженности  $u_4^0$  и коэффициенты регрессии издержек  $\beta_C$ , не превышая 22,39% на границах диапазона практически реализуемых значений.

На рис.3.7 представлены кривые производственного и операционного циклов ( $F_1(u_1) F_2(u_1)$ ), рассчитанные по формулам (2.6),(2.35) и кривая прибыли  $F_3(u_1)$  по формуле (2.69); также отмечено ограничение (2.9) в виде  $u_1^{\min}(N)$ , а ограничение (2.19) не показано, поскольку на рынке ресурсов выявлены низкоэластичные ценовые кривые (3.13), при которых в виду условия (2.24) данное ограничение не играет роли; показаны фактические значения критериев  $F_2, F_3$ , реализовавшиеся в 2015г.

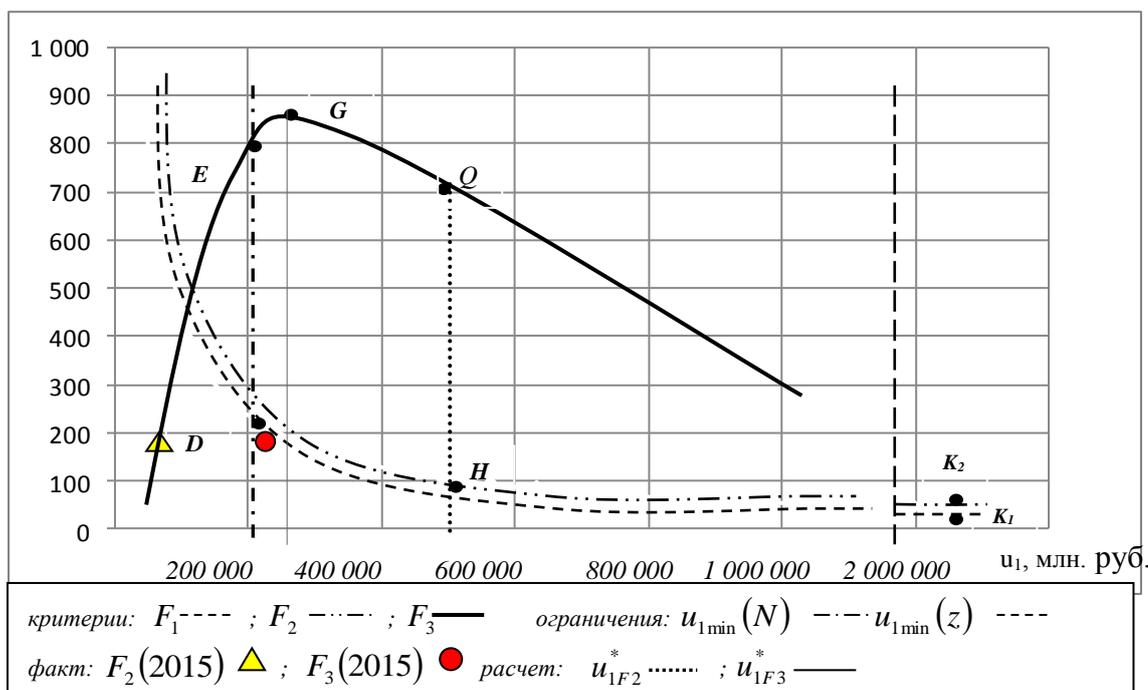


Рисунок 3.7 - Расчетные и фактические (при объемах заказов в 2015 г.) значения производственного и операционного цикла (дни), ограничения по нормативу потребности ресурсов в зависимости от объема заказов покупателей и цен поставщиков (млн. руб.), прибыль (млн. руб.)

Анализ показывает, что, поскольку для исследуемой фирмы  $u_{1F3}^* < u_{1F2}^*$ , то областью компромиссных по критериям  $F_2, F_3$  объемов заказов ресурсов  $u_1$  является диапазон  $u_1 \in [u_1^{\min}(N), u_{1F3}^*]$ , отмеченный отрезком EG кривой прибыли; в противном случае область компромисса выражалась бы диапазоном  $u_1 \in [u_1^{\min}(N), u_{1F2}^*]$  (отрезок DH кривой цикла). Отметим, что в практически значимом диапазоне значений  $u_1$  критерии  $F_2, F_3$  не противоречивы: прибыль уменьшается с ростом  $u_1$  только при  $u_1 > u_{1F3}^*$ , а цикл при этом продолжает сокращаться, что отражает низкий темп роста заготовительных издержек фирмы.

В соответствии с механизмом (2.73) решением задачи оптимизации заказов ресурсов по временным и финансовым критериям с учетом введенных ограничений является значение  $u_1 = u_1^{\min}(N)$ , при котором значение прибыли выше, а продолжительность цикла ниже, чем фактические данные 2015г. Общий экономический эффект рассчитан по методу прямого счета в определении стоимости оборотного капитала в запасах и составил 5,8 млн. руб. в 2015г.

Система поддержки принятия решений представлена на рис. 3.8.

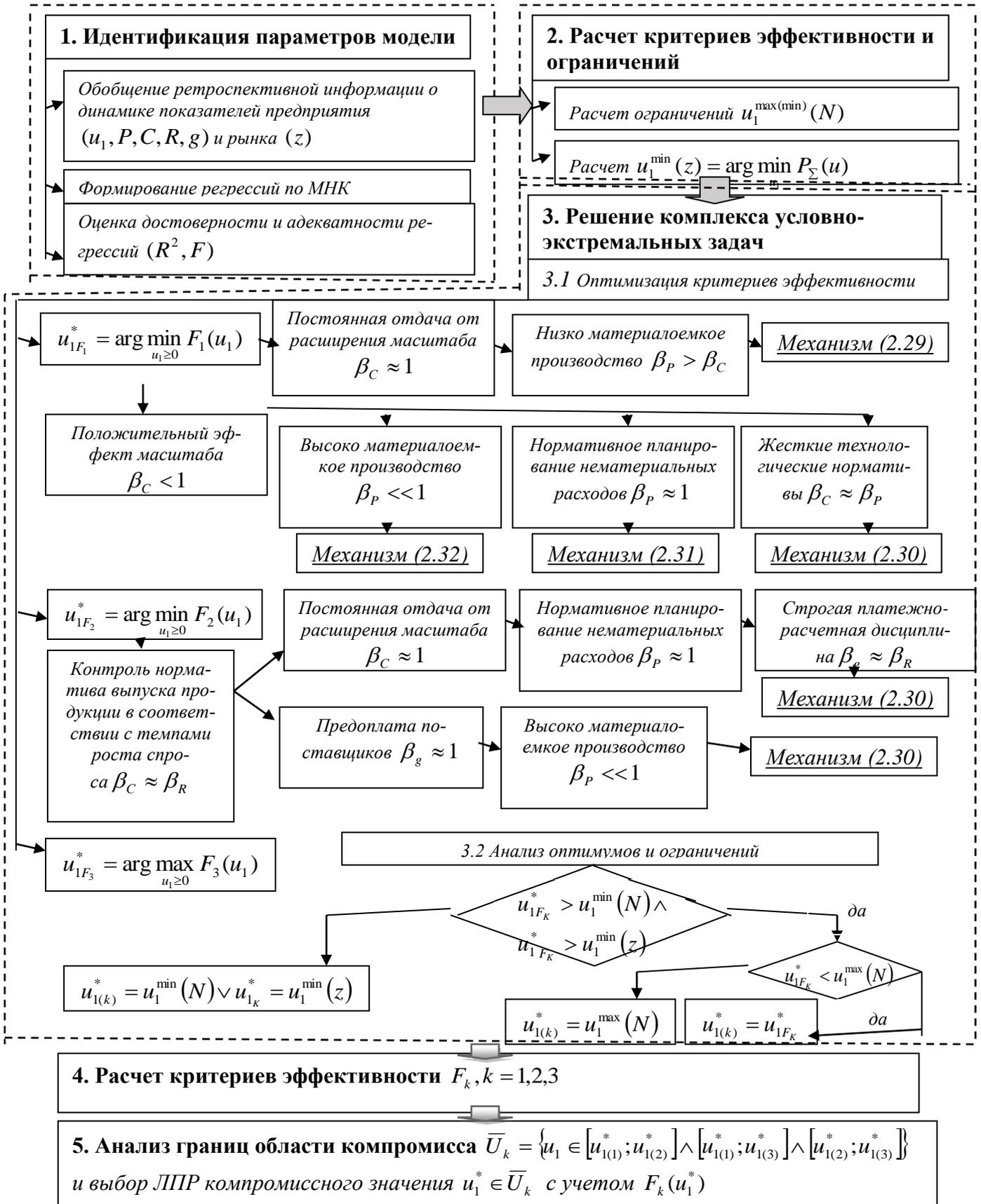


Рис.3.8 – Структура алгоритма статической оптимизации заказов ресурсов

Данная система предполагает оптимизацию заказов ресурсов на основе критериев производственного и операционного циклов, а также прибыли в виде алгоритма статической оптимизации заказов ресурсов

### **3.4. Выводы к главе 3**

Анализ оптимальных механизмов приводит к следующим выводам. В практически значимых случаях сопоставимых темпов роста нематериальных расходов и себестоимости, а также темпов роста денежного потока и выручки, существуют значения объемов заказов материалов, минимизирующие длительность бизнес-циклов фирмы. Аргументы оптимумов бизнес-циклов достаточно велики по сравнению со средним уровнем остатков материальных ресурсов, поэтому в реальном диапазоне изменения объема заказов ресурсов длительность циклов убывает с ростом этого показателя. Следовательно, с точки зрения временных критериев оптимальности для фирмы целесообразно наращивать объем заказов ресурсов. Также для практически реализуемых соотношений темпов роста издержек и выручки существует объем заказов ресурсов, максимизирующий прибыль фирмы, причем аргумент оптимума прибыли, как правило, существенно меньше аргументов оптимумов циклов. Поэтому с позиции финансового критерия фирма также заинтересована в повышении объемов заказов ресурсов, а в целом по комплексу временных и финансовых критериев допустимый диапазон изменения объемов заказов ограничен наименьшим из аргументов оптимумов прибыли и циклов. Следовательно, состояние противоречивости критериев наступает только при объемах заказов, превышающих аргумент оптимума прибыли, когда встает необходимость анализа множества Парето. В остальных случаях выбор оптимального по комплексу критериев объема заказов ресурсов определяется на основе сравнительного анализа оптимумов критериев и ограничений по уровню заказов покупателей и по ценовым функциям поставщиков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование позволило получить следующие основные результаты:

- сформирована модель оптимизации заказов ресурсов по временным и финансовым критериям в условиях действия устойчивых нелинейных трендов издержек, выручки, денежного потока и цен ресурсов в зависимости от объема их закупок;

- определены оптимальные механизмы планирования заказов ресурсов для реализации заданной производственной программы с позиций комплекса временных и финансовых критериев оптимальности;

- разработаны динамическая модель и оптимальный механизм производственного цикла, позволяющие путем последовательной оптимизации по подпериодам планового периода сформировать программу заготовления материалов, отпуска материалов и выпуска продукции, учитывающую все стадии бизнес-процесса машиностроительного предприятия с учетом ограничений на закупочные цены поставщиков и на объемы производства, обеспечивающие ритмичность выпуска продукции;

- проведен анализ механизмов минимизации издержек, минимизации производственного и операционного циклов, максимизации прибыли и комплексной оптимизации, на основе которых сформированы оптимальные программы обеспечения ресурсами для предприятий ООО «Завод приборных подшипников», ОАО «Самарский подшипниковый завод», которые в условиях практической реализации позволяют получить экономический эффект при иммобилизации прибыли в запасах в размере 5,8 млн. руб.

Аналитические механизмы оптимизации производственного цикла применимы для наиболее характерного способа построения производственного процесса современных машиностроительных предприятий, при котором за счет технологических эффектов темп роста издержек ниже темпа роста материальных ресурсов.

Аналитические механизмы оптимизации операционного цикла используются в условиях строгого соответствия объемов заказов ресурсов программе выпуска при соблюдении нормативов нематериальных расходов по отношению к темпу изменения общих издержек, а также нормативов производства продукции в соответствии с темпами роста спроса.

Оптимумы производственного и операционного циклов достигаются при объемах заказов ресурсов, значительно превышающем средние остатки ресурсов.

Оптимум прибыли возрастает с увеличением коэффициентов функции выручки и снижается с ростом коэффициентов функции издержек, следовательно, изменение эндогенной функции издержек фирмы оказывает противоречивое влияние на финансовый и временные критерии бизнес-процесса.

## Список цитируемой литературы

1. **Аганбегян, А.Г.**, Багриновский К. А., Гранберг А. Г. Система моделей народнохозяйственного планирования [Текст] / А. Г. Аганбегян, К. А. Багриновский, А. Г. Гранберг. – М.: Мысль, 1972. – 348 с.
2. **Астринский, Д.** Экономический анализ финансового положения предприятия / Д. Астринский // Экономист. – 2000. - № 12. – С. 34-47.
3. **Бабенко, В.А.** Формирование динамической модели многокритериальной оптимизации управления инновационными процессами перерабатывающих предприятий АПК / В.А. Бабенко // Экономика. Экономико-математическое моделирование. – 2013. № 7. – С. 85-88.
4. **Багриновский, К. А.**, Матюшок В. М. Экономико-математические методы и модели: Учеб. пособие [Текст] / К. А. Багриновский, В. М. Матюшок. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 220 с.
5. **Бакаев, А. А.** Имитационные модели в экономике: монография [Текст] / А. А. Бакаев, Н. И. Костина, Н. В. Яровицкий. – Киев: Наукова думка, 1978. – 304 с.
6. **Балабина, О. И.** Формирование модели управления запасами для реорганизации бизнес-процессов при переходе к "тянущим" системам [Текст] / О. И. Балабина // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2008. – С. 57-61.
7. **Барановская, Т. П.** Поточные и инвестиционно-ресурсные модели управления агропромышленными комплексом: монография [Текст] / Т. П. Барановская, В. И. Лойко, А. И. Трубилин.– Краснодар: КубГАУ, 2006. – 352 с.
8. **Безбородова, Т. И.** Анализ особенностей формирования финансовой (бухгалтерской) отчетности на различных стадиях жизненного цикла организации [Текст] / Т. И. Безбородова // Экономический анализ: теория и практика. - 2007. - № 1. - С. 28-37.
9. **Богданов, Д. Н.** Структура системы управления электромагнитными подшипниками [Текст] / Д. Н. Богданов, В. П. Верещагин // Вопросы электромеханики. - 2010. - Т. 114. - С. 9-15.

10. **Бойко, В.В.** Управление дебиторской и кредиторской задолженностью на промышленных предприятиях Украины [Текст] / В. В. Бойко, М. С. Пашкевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга. – 2010. - № 8. – С. 243-245.

11. **Большой** энциклопедический словарь. Математика [Текст] / Под ред. Ю. В. Прохорова. – М.: Научное изд-во «Большая Российская Энциклопедия», 2000. – 848 с.

12. **Бражников, М. А.** Моделирование календарных планов сборочных процессов в условиях машиностроительного производства [Текст] / М. А. Бражников // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия физико-математические науки. – 2004. - №26. – С. 165-173.

13. **Бугаков, В. М.** Оперативное управление промышленным предприятием при росте спроса на выпускаемую продукцию [Текст] / В. М. Бугаков // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2010. – №2. – С. 37-45.

14. **Бурков, В. Н.** Модели и методы управления организационными системами [Текст] / В. Н. Бурков, В. А. Ириков. – М.: Наука, 1994. – 270 с.

15. **Вайнер, Дж.** Кривые затрат и кривые предложения // Вехи экономической мысли. Теория фирмы.- Спб: Экономическая школа, – 2000. - №27. – С. 94-135.

16. **Валитов, Ш. М.** Модели управления запасами промышленного предприятия [Текст] / Ш. М. Валитов // Вестник КГФЭИ. – 2005. - №1. – С. 36-40.

17. **Василенко, С. В.** Управление факторами экономической эффективности на металлургическом предприятии [Текст] / С. В. Василенко // Металлург. - 2011. - № 8. - С. 7-11.

18. **Васильева, Е. С.** Оперативно-производственное планирование программы предприятия (на примере машиностроения) [Текст] / Е. С. Васильева // Справочник экономиста. – 2007. - №2(44). – С. 67-76.

19. **Виханский, О. С.** Менеджмент: человек, стратегия, организация, процесс [Текст] / О. С. Виханский, А. И. Наумов.– М.: Изд-во МГУ, 1996. – 416 с.
20. **Власов, Р. Н.** Методические положения по формированию и распределению производственной программы организации транспортного машиностроения, обеспечивающей ритмичность производства изделий [Текст] / Р. Н. Власов // Вестник машиностроения. – 2008. - №9. – С. 77-80.
21. **Вожаков, А. В.** Модель календарного планирования с нечеткими ограничениями [Текст] / А. В. Вожаков, М. Б. Гитман // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2008. - №4. – С. 79-82.
22. **Волконский, В. А.** Основы экономико-математического моделирования [Текст] / В. А. Волконский. – М.: Знание, 1967. – 40 с.
23. **Гераськин М.И.** Модели оптимизации управления неиерархическими системами корпораций при межкорпоративных взаимодействиях [Текст] / М. И. Гераськин // Проблемы управления. - 2010.- № 5 - С.28-38.
24. **Гераськин М.И.** Процессы и стратегии корпоративной интеграции в российском авиастроении [Текст] / М. И. Гераськин // Экономические стратегии. - 2005.- № 5-6 - С.92-97.
25. **Гераськин М.И.** Статическая оптимизация производственных циклов на предприятиях подшипниковой промышленности [Текст] / М. И. Гераськин, В. В. Егорова// Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. –№11 (121). – С.53-60.
26. **Голинков, Ю. П.** Двухуровневая система управления запасами полиграфических предприятий [Текст] / Ю. П. Голинков, М. Савакни // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2000. - №1(2). – С. 111-117.
27. **Горлач Б.А.,** Савельев Г.Л. Прогнозирование и оптимизация процесса поставок в условиях колебания спроса [Текст] //Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Коро-

лева (Национального исследовательского университета). – 2011. - №4. – С. 48-57.

28. **Горлач Б.А.,** Чуйкова Ю.С. Прогнозирование объемов продаж в модели управления запасами [Текст] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева (Национального исследовательского университета). – 2008. - №8. – С. 129-133.

29. **Грибанова, Е. Б.** Алгоритмические имитационные модели управления материальными запасами на складе [Текст] / Е. Б. Грибанова, А. А. Мицель // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – №8 – С. 201-206.

30. **Григорьев, В. П.** Модель оптимального распределения ресурсов в производство [Текст] / В. П. Григорьев, В. Н. Калюта, К. А. Киселев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. - № 5. – С. 179-181.

31. **Гугушвили, Г. Е.** Экономико-статистическое моделирование автоматизированного производства [Текст] / Г. Е. Гугушвили, В. Б. Гохберг. – Тбилиси: Мецниереба, 1973. – 74 с.

32. **Дадаян, В. С.** Экономико-математическое моделирование социалистического воспроизводства [Текст]. – М.: Изд-во экономич. лит-ры, 1963. – 343 с.

33. **Дыбаль, С. В.** Финансовый анализ в концепции контроллинга. Монография [Текст] / С. В. Дыбаль. – Спб.: Бизнес-пресса, 2009. – 344 с.

34. **Ефимова, П. Е.** Математическая модель распределения заказов в автоматизированной системе технологической подготовки производства на предприятиях авиационной промышленности [Текст] / П. Е. Ефимова // Научно-технический журнал ИСиТ. – 2010. - №1/57(584). – С. 82-88.

35. **Замков, О. О.** Моделирование народнохозяйственных процессов: Учеб. пособие [Текст] / О. О. Замков. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 83 с.

36. **Золотарев, А. Н.** Повышение продуктивности воспроизводственных процессов (на примере машиностроения): Монография [Текст] / А. Н. Золотарев. – Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК», 2004. – 172 с.
37. **Зубкова, Н. В.** Применение экономико-математических моделей при формировании затрат машиностроительного предприятия на стадии планирования [Текст] / Н. В. Зубкова // Вектор науки ТГУ. – 2010. - № 2(12). – С. 166-169.
38. **Иванилов, Ю. П.** Математические модели в экономике [Текст] / Ю. П. Иванилов, А. В. Лотов. – М.: Наука, 1979. – 304 с.
39. **Игнатушенко, В. Н.** Анализ финансового состояния предприятия (экспресс-оценка) [Текст] / Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. - №34. – С. 26-37.
40. **Иткин, Д. Ф.** Определение спроса предприятий машиностроительной отрасли в услугах кредитно-финансовых учреждений [Текст] / Д. Ф. Иткин // Бизнесинформ. - 2009. - № 2(3). - С. 41-48.
41. **Кабанов, В. Н.** Интегральный показатель экономической надежности как определяющий элемент диагностической оценки функционирования процессов промышленной организации [Текст] / В. Н. Кабанов, С. Н. Михайлов // Менеджмент в России и за рубежом. - 2007. - № 6. - С. 112-114.
42. **Калараш, Е. В.** Подшипники качения с пластичной смазкой [Текст] / Е. В. Калараш, А. В. Коленкин, С. М. Кокурятов // Успехи современного естествознания. - 2012. - № 6. - С. 75-76.
43. **Карпов, В. В.** Управление операционным циклом производства инновационной продукции машиностроения с учетом производственных и непроизводственных рисков [Текст] / В. В. Карпов // Экономические науки. – 2010. - № 3(64). – С. 104-107.
44. **Кацюба, О. А.** Методы математического моделирования и адаптивной оптимизации систем с неполной информацией [Текст] / О. А. Кацюба. – Куйбышев: КПТИ, 1975. – 92 с.

45. **Клейнер, Г. Б.** Эконометрические зависимости: принципы и методы построения [Текст] / Г. Б. Клейнер, С. А. Смоляк. – М.: Наука, 2000. – 104 с.

46. **Клейнер, Г. Б.** Производственные функции: Теория, методы, применение [Текст] / Г. Б. Клейнер. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.

47. **Колобов, А.А.** Формирование оптимальной производственной программы машиностроительного предприятия и определение цен на продукцию в условиях олигополии [Текст] / А. А. Колобов // Вестник машиностроения. – 2004. - №11. – С. 56-62.

48. **Колодин, Д. О.** Совершенствование определения потребности в оборудовании в условиях единичного производства на основе модели производственного цикла [Текст] / Д. О. Колодин // Электронное научное издание "Актуальные инновационные исследования: наука и практика". - 2009. - №2. - <http://www.actualresearch.ru>

49. **Кононенко В.Н.** Анализ финансового состояния предприятия (экспресс-оценка) / В. Н. Кононенко, И. Л. Мироненко// Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. - №34. – С. 26-37.

50. **Кузнецов, Л. А.** Новый подход к решению задачи планирования производственной деятельности организации [Текст] / Л. А. Кузнецов, М. В. Черных // Управление предприятием. – 2005. - № 1. – С. 66-76.

51. **Куприенко Н.В.** Статистика. Методы анализа распределений. Выборочное наблюдение. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 138 с.

52. **Ларионов, А. И.** Экономико-математические методы в планировании: Учеб. для сред. спец. учеб. заведений [Текст] / А. И. Ларионов, Т. И. Юрченко, А. Л. Новоселов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 240 с.

53. **Лойко, В. И.** Комплекс моделей оптимизации параметров управления запасами технологически интегрированной производственной системы [Текст] / В. И. Лойко, О. А. Макаревич, С. Н. Богославский // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. –

Краснодар: КубГАУ, 2011. - №72(08). – С. 1-15. – Режим доступа: <http://ej.kubarou.ru/2011/08/pdf/47.pdf>, 0,94 у.п.л.

54. **Лойко, В. И.** Методика и модели оценки эффективности хлебопродуктовых производственных объединений потребительской кооперации [Текст] / В. И. Лойко, Т. В. Першакова, О. В. Ищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. - №02(10). – С. 176-195. – Режим доступа: <http://ej.kubarou.ru/2005/02/pdf/16.pdf>, 1,25 у.п.л.

55. **Лотов, А.В.** Введение в экономико-математическое моделирование [Текст]. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984 - 392с.

56. **Лукьянова, Н. А.** Некоторые средства формализации проблем сложных систем производственной сферы [Текст] / Н. А. Лукьянова // Балтийский экономический журнал. – 2011. - №1(5). – С. 158-166.

57. **Лукьянова, Н. А.** Применение методов финансовой логистики для оптимизации финансового цикла предприятия с длительным процессом производства [Текст] / Н. А. Лукьянова, О. А. Шевченко // Балтийский экономический журнал. – 2009. - №1(5). – С. 38-46.

58. **Лукьянова, Н. А.** Средства обоснования системности решений в производственной сфере [Текст] / Н. А. Лукьянова // Балтийский экономический журнал. – 2012. - №1(7). – С. 157-164.

59. **Лукьянова, Н. А.** Трудности формирования системы решений по хозяйственному комплексу и основной путь их преодоления [Текст] / Н. А. Лукьянова // Балтийский экономический журнал. – 2010. - №1(3). – С. 89-96.

60. **Макарова, А. А.** Управление денежными потоками с помощью построения модели финансового равновесия предприятия и модели регулирования остатков денежных средств [Текст] / А. А. Макарова // Аудит и финансовый анализ. - 2009. - № 5. - С. 116-122.

61. **Макушева, О. Н.** Оптимизация структуры оборотных активов транспортной организации в пределах нормативного коридора ликвидности [Текст] / О. Н. Макушева // Финансовый менеджмент. - 2009. - № 3. - С. 3-23.
62. **Малафеева, М. В.** Оценка влияния дебиторской задолженности на цикл денежного обращения [Текст] / М. В. Малафеева, О. Е. Стулова // Экономический анализ: теория и практика. - 2009. - № 9. - С. 47-52.
63. **Мальцев, А. С.** Оптимизационные методы управления ликвидностью компании [Текст] / А. С. Мальцев, Л. В. Горбатова // Управление финансами предприятий. Финансовый менеджмент. - 2006. - № 3. - С. 16-29
64. **Масло, А. В.** Управление длительностью производственного цикла (на примере упаковочного производства): автореф. дис. канд. экон. наук [Текст] / А. В. Масло. – М., 2010. – 28 с.
65. **Матвеева, Т. Ю.** Современные подходы к моделированию воздействия несовершенств финансового рынка на бизнес-цикл [Текст] / Т. Ю. Матвеева, Н. А. Сапункова // Journal of institutional studies (Журнал институциональных исследований). – 2011. – Том 3, № 4. – С. 34-47
66. Математические методы и модели исследования операций: учебник для студентов вузов [Текст] / под ред. В.А. Колемаева. М.: Юнити-Дана, 2008. - 592с.
67. **Материалы** сайта Минпромторга РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.minpromtorg.gov.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
68. **Материалы** сайта Правительства РФ [Электронный ресурс] О мерах по защите российских производителей подшипников – Режим доступа: <http://www.government.gov.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
69. **Материалы** сайта Российской газеты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rg.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
70. **Материалы** сайта Росстата РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

71. **Материалы** сайта ООО «Завод приборных подшипников» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mbf-samara.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

72. **Материалы** сайта ОАО «Самарский подшипниковый завод» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.spzgroup.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

73. **Материалы** сайта ОАО «Средневолжский подшипниковый завод» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.svpz.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

74. **Махитько, В.П.** Метод расчета производственного цикла изготовления изделия [Текст] / В. П. Махитько // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. - №6-1. – С. 300-306.

75. **Михайлов, Ю. А.** Моделирование и оптимизация динамики финансового состояния предприятия при освоении производственных мощностей [Текст] / Ю.А. Михайлов, Н.Н. Белоусова // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 1999. – №5. – С. 45- 66.

76. **Михайлова, Л. В.** Формирование и оперативное управление производственными системами на базе поточно-группового производства в автоматизированном режиме [Текст] / Л. В. Михайлова, Ф. И. Парамонов, А. В. Чудин. - М.: ИТЦ МАТИ, 2002. - 60 с.

77. **Мулкиджанян, В. С.** Совершенствование процесса управления оборотными средствами промышленного предприятия: организационно-методический аспект: автореф. дис. канд. экон. наук [Текст]/ В. С. Мулкиджанян. – Ростов н/Д, 2011. – 26 с.

78. **Негашев, Е. В.** Анализ финансов предприятия в условиях рынка [Текст]: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1997. – 192 с.

79. **Недолужко, О. В.** Управление стоимостью инновационного бизнеса с использованием модели факторов стоимости [Текст] / О. В. Недолужко // Власть и управление на Востоке России. - 2010. - № 2(51). - С. 64-69.

80. **Новик, И. Б.** О философских вопросах кибернетического моделирования [Текст] – М.: Знание, 1964. – 176 с.

81. **Овшинов, С. А.** Оперативно- календарное планирование в серийном и единичном производстве [Текст] / С. А. Овшинов // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3. Экономика. Экология. - 2010. - № 1(16). - С. 13-18.

82. **Оглеzneв, Н. А.** Организация и управление процессами труда и производства на заводах машиностроительного профиля [Текст] : учеб. пособие / Н.А. Оглеzneв, В.Г. Засканов, Г.С. Филин. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 416 с.

83. **Окатыев, Н. А.** Решение задач по оптимизации распределения выпуска продукции [Текст] / Н. А. Окатыев // Вестник машиностроения. – 2012. - №1. – С. 78-83.

84. **Орлов, А.И.** Теория принятия решений: учеб. пособие [Текст], М.: Издательство «Март», 2004. - 656с.

85. **Основы экономики и управления:** Учеб. пособие для студ. сред. проф. учеб. заведений / Т. Ф. Басова, В. И. Иванов, Н. Н. Кожевников и др.; Под ред. Н.Н. Кожевникова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.

86. Официальный сайт маркетинговых исследований рынка в России <http://www.expert-rating.ru/>

87. Официальный сайт исследовательской группы Инфомайн: исследования рынков минерального сырья, металлов и химической продукции

88. **Панюков, А.В.** Подходы к формированию производственной программы для предприятий с дискретным механосборочным типом производства [Текст] / А. В. Панюков, В. А. Телегин // Вестник Пермского университета. Серия экономика. – 2011. - № 4(11). – С. 74-83.

89. **Парамонов, Ф. И.** Задача оптимизации при моделировании поточно-группового производства [Текст] / Ф.И. Парамонов, Г. П. Ежов // Организатор производства. – 2008. № 1. – С. 54-62.

90. **Пахомов, М.** Максимум загрузки оборудования или минимум издержек? [Текст] / М. Пахомов // РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. - 2002. - № 2. - С. 33-40

91. **Пелих А. С.** Экономико-математические методы и модели в управлении производством [Текст] / А. С. Пелих, Л. Л. Терехов, Л. А. Терехова. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 248 с.

92. **Петрушин, С. И.** Определение оптимальной программы выпуска изделий машиностроения [Текст] / С. И. Петрушин // Вестник машиностроения. – 2011. - №2. – С. 80-85.

93. **Пижурин, А.А.** Оптимизационная математическая модель задачи оперативного планирования и управления лесопильно-деревообрабатывающим производством в условиях рыночной экономики [Текст] / А. А. Пижурин, Д. Д. Муращенко // Лесной вестник. – 2008 - № 3. – С. 32-35.

94. **Писарев, В. Н.** Внутрихозяйственный контроль затрат, как функция управления производственным циклом в зверохозяйствах [Текст] / В. Н. Писарев // Управленческий учет. – 2008. - №6. – С. 88-97.

95. **Попов, В.В.** Анализ эффективности управления коммерческим циклом предприятия: автореф. дис. канд. экон. наук [Текст] / В. В. Попов. – М., 2008. – 26 с.

96. **Просвиркин, Н.Ю.** Экономико-математическая многокритериальная модель управления материальными потоками в сетевых интегрированных структурах [Текст] / Н. Ю. Просвиркин // УБС, 30.1 (2010), 743–757

97. **Рабинович, М. Г.** Многокритериальные задачи оптимизации и их применение в планировании производства [Текст] / М. Г. Рабинович. – Л.: ЛИЗИ, 1986 – 187 с.

98. **Радионов, Р. А.** Нормирование и управление запасами и оборотными средствами предприятия в условиях рыночной экономики [Текст] / Р. А. Радионов // Вестник машиностроения. – 2004. - №9. – С. 69-75.

99. **Радионо́в, Р. А.** Российские особенности управления запасами и оборотными средствами [Текст] / Р. А. Радионо́в // Логистика. – 2003. - №4. – С. 31-32.

100. **Раскато́ва, М. И.** Экспертные методы в управлении запасами [Текст] / М. И. Раскато́ва // Вестник Челябинского государственного университета. – 2007. - №5. – С. 119-126.

101. **Ростова Е.П.** Постановка задачи линейного программирования для распределения средств по управлению рисками промышленного предприятия [Текст] / Е. П. Ростова, О. А. Верховец // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. – 2013. - №2. – С.116-119.

102. **Ружанская, Н. В.** Методика оптимизации запасов торговой организации: модели и возможности применения [Текст] / Н. В. Ружанская // Корпоративное управление и инновационное развитие Севера. Вестник научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского гос. ун-та. – 2008. - №3. – С. 107-115.

103. **Савиных, В. Н.** Математическое моделирование производственно-го и финансового менеджмента: учеб. пособие [Текст] / В. Н. Савиных.- М.: КНОРУС, 2009. – 192 с.

104. **Савицкая, Г. В.** Экономический анализ [Текст] / Г. В. Савицкая. – 11-е изд., испр. и доп. – М.: Новое знание, 2005 . – 651 с.

105. **Савицкий, А. П.** Подшипники скольжения на основе алюминия [Текст] / А. П. Савицкий, М. И. Вагнер // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - Т. 313 № 3. - С. 78-83.

106. **Свету́ньков, С.Г.** Методы маркетинговых исследований: учеб. пособие [Текст], СПб.: Издательство ДНК, 2003. - 352с.

107. **Селиванова, Л. А.** Исследование предприятий на основе мониторинга нематериальных активов [Текст] / Л. А. Селиванова, А. А. Городничев // Балтийский экономический журнал. – 2010. - №2(4). – С. 168-179.

108. **Советов, Б. Я.** Моделирование систем: Учеб. для вузов [Текст] / Б. Я Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.

109. **Соколов Я. В.** Основы теории бухгалтерского учета [Текст]. - М.: Финансы и статистика, 2005. – 496 с.

110. **Тарасова, Е. Ю.** Механизм образования и ликвидации дебиторской задолженности [Текст] / Е. Ю. Тарасова // Аудиторские ведомости. - 2006. - № 7. - С. 54-60.

111. **Теплицкий, В. А.** Методический подход определения платежеспособности и финансовой устойчивости предприятия [Текст] / В. А. Теплицкий, А. Г. Мнацаканян // Балтийский экономический журнал. – 2011. -№ 2(6). – С. 83-95.

112. **Теплицкий, В. А.** Обеспечение устойчивого финансового развития предприятия [Текст] / В. А. Теплицкий, А. М. Перфилова // Балтийский экономический журнал. – 2011. -№ 1(5). – С. 54-59.

113. **Титов, С. Ю.** Особенности использования финансового анализа в текущем управлении предприятием [Текст] / С. Ю. Титов // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2000. – №1. – С. 95- 107.

114. **Ткач, В.Р.** Экономико-математические модели оперативного планирования камнеобрабатывающего производства / В. Р. Ткач, С. В. Назаренко, С. С. Резниченко, Д. А. Селезнева // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка-2001». – М.: МГТУ, 2001.

115. **Толысбаев, Б. С.** Экономико-математическое моделирование процесса поставки сельскохозяйственной продукции [Текст] / Б. С. Толысбаев // Вестник ОГУ. – 2006. - № 5. – С. 85-88.

116. **Тюрин, А. Ю.** Скорость поставок и оборот капитала: влияние схемы транспортного обслуживания на финансовые показатели деятельности предприятий пищевой промышленности [Текст] / А. Ю. Тюрин // Российское предпринимательство. - 2010. - № 1. - вып. 2 - С. 69-75.

117. **Уаллас, Т.** Планирование продаж и операций. Практическое руководство [Текст] / Т. Уоллас, Р. Сталь. – Спб.: Питер, 2009. – 272 с.

118. **Федорин, В. Ю.** Проблема рынка природного камня в России [Текст] / В. Ю. Федорин // Камень и бизнес. – 2000. - № 2. – С. 76-80.

119. **Федосеев, В. В.** Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для вузов [Текст] / В. В. Федосеев, А. Н. Гармаш, Д. М. Дайитбегов. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.

120. **Филин, Г. С.** Планирование производства группы сложных изделий машиностроения с определением календарных дат «опережений» их отдельных сборочных единиц [Текст] / Г. С. Филин // Вестник машиностроения. – 2007. - №3. – С. 75-82.

121. **Ханыгина, Е. С.** Разработка системы планирования на базе модели цепочки поставок промышленного предприятия [Текст] / Е. С. Ханыгина, А. М. Иванилова // Вестник машиностроения. – 2010. - №6. – С. 88-92.

122. **Хахонова, Н. Н.** Выявление и характеристика основных факторов, влияющих на организацию системы учета денежных потоков [Текст] / Н. Н. Хахонова // Экономический анализ: теория и практика. - 2005. - № 23. - С. 37-46.

123. **Храпова, Е. В.** Финансовые модели для оценки и планирования деятельности предприятий водного транспорта [Текст] / Е. В. Храпова // Наука. – 2011. - №5. – С. 78-81.

124. **Царьков, И.** Операционный денежный поток в компании: планирование в условиях неопределенности [Текст] / И. Царьков // Проблемы теории и практики управления. - 2011. - № 10. - С. 52-61

125. **Чернобровая, Н. В.** Методологические основы применения понятий затрат, расходов, издержек в теории и на практике [Текст] / Н. В. Чернобровая, Н. В. Гладкова // Балтийский экономический журнал. – 2010. - №2(4). – С. 195-207.

126. **Чуйкова, Ю. С.** Выбор метода оптимизации товарного запаса предприятия [Текст] / Ю. С. Чуйкова // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2009. - №12(62). – С. 121-125.

127. **Чуйкова, Ю. С.** Динамическая модель пополнения товарного запаса предприятия с учетом заданных ограничений [Текст] / Ю. С. Чуйкова //

Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2009. - №11 (61). – С. 125-129.

128. **Шапиро Л. Д.** Экономико-математическое моделирование [Текст] / Л. Д. Шапиро, Г. В. Виноградов, Я. М. Лотош. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. – 248 с.

129. **Шеремет, А. Д.** Финансы предприятий: менеджмент и анализ: Учеб. пособие [Текст] / А. Д. Шеремет, А. Ф. Ионова.- М.: ИНФРА-М, 2006. – 479 с.

130. **Шестерикова, Е. Н.** Нормирование незавершенного производства на предприятиях тяжелого машиностроения с единичным и мелкосерийным выпуском [Текст] / Е. Н. Шестерикова // Вестник машиностроения. – 2007. - №3. – С. 68-74.

131. **Шориков, А.Ф.** Динамическая оптимизация комплексного управления технологическими процессами на предприятии [Текст] /А.Ф. Шориков, Е. Ю. Виноградова // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2007. - №1(18). – С. 254-266.

132. **Экономико-математический энциклопедический словарь** / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. – М.: «ИНФРА – М», 2003. – 688 с.

133. **Экономико-математическое моделирование** [Текст] / Под общ. ред. И. Н. Дрогобыцкого.- М.: Экзамен, 2004. – 800 с.

134. **Alimardani M., Rafiei H., Rabbani M.** (2015) A novel approach toward coordinated inventory management of an agile multi-echelon multi-product supply chain // Source of the Document Cogent Engineering. Vol.2(1). Pp. 113-124.

135. **Aliyev R.** (2017) On a stochastic process with a heavy-tailed distributed component describing inventory model type of (s, S) // Communications in Statistics - Theory and Methods. Vol. 46(5). Pp. 2571-2579.

136. **Ashoka Varthanan P., Murugan N., Mohan Kumar G.** (2014) An AHP based heuristic DPSO algorithm for generating multi criteria production-distribution plan // Journal of Manufacturing Systems. Vol.32(4). Pp. 632-647.

137. **Baumann P.**, Forrer S., Trautmann N. (2015) Planning of a make-to-order production process in the printing industry // Source of the Document Flexible Services and Manufacturing Journal. Vol.27(4). Pp. 534-560.
138. **Berling P.**, Marklund J. (2014) Multi-echelon inventory control: An adjusted normal demand model for implementation in practice // International Journal of Production Research. Vol.52(11). Pp. 3331-3347.
139. **Bobalo Y.**, Nedostup L., Kiselychnyk M., Melen M., Zayarnyuk P. (2015) Multicriteria optimization of processes for ensuring the quality and reliability of radio electronic devices // Advanced Engineering Informatics. Vol.60(1). Pp. 89-96.
140. **Cao Y.**, Smucker B.J., Robinson T.J. (2015) On using the hypervolume indicator to compare Pareto fronts: Applications to multi-criteria optimal experimental design // Journal of Statistical Planning and Inference. Vol.160. Pp. 60-74.
141. **Cheaitou A.**, Khan S.A. (2015) An integrated supplier selection and procurement planning model using product predesign and operational criteria // International Journal on Interactive Design and Manufacturing. Vol.9(3). Pp. 213-224.
142. **Denkena B.**, Dahlmann D., Damm J. (2015) Self-adjusting process monitoring system in series production // Procedia CIRP . Vol.33. Pp. 233-238.
143. **Dileep M.V.**, Kamath S. (2015) A review on particle swarm optimization algorithm and its developments // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. Vol.11(6). Pp. 4997-5018.
144. **Fechete F.**, Nedelcu A. (2014) Optimizing decisional process by applying the multi-criteria analysis // Source of the Document Applied Mechanics and Materials. Vol.657. Pp. 926-930.
145. **Gajpal Y.**, Nourelfath M. (2015) Two efficient heuristics to solve the integrated load distribution and production planning problem // Source of the Document Reliability Engineering and System Safety. Vol.144. Pp. 204-214.

146. **Gansterer M.** (2015) Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems // Source of the Document International Journal of Production Economics. Vol.170. Pp. 521-528.
147. **Hsieh F.-S.,** Lin J.-B. (2014) A multiagent approach for managing collaborative workflows in supply chains // Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2014. Vol.3. Pp. 71-76.
148. **Janeková J.,** Kováč J., Onofrejevá D. (2014) Modelling of production lines selection for mass production of sanitary products // Procedia Engineering. Vol.96. Pp. 190-194.
149. **Mishra U. A.** (2016) waiting time deterministic inventory model for perishable items in stock and time dependent demand // International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. Vol.7. Pp. 294-304.
150. **Sivashankari C.K.,** Panayappan, S. (2014) Production inventory model for two levels production with defective items and incorporating multi-delivery policy // International Journal of Operational Research. Vol.19(3). Pp. 259-279.
151. **Tajbakhsh A.,** Hassini E. (2015) A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks // Journal of Cleaner Production. Vol.105. Pp. 74-85.
152. **Vijayashree M.,** Uthayakumar R. (2016) Two-echelon supply chain inventory model with controllable lead time // Source of the Document International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. Vol.7. Pp. 112-125.
153. **Wang C.,** Liu X.-B. (2013) Integrated production planning and control: A multi-objective optimization model // Journal of Industrial Engineering and Management. Vol.6(4). Pp. 815-830.
154. **Wang H.** (2015) Direct zigzag search for discrete multi-objective optimization // Computers and Operations Research. Vol.61. Pp. 100-109.
155. **Zhong R.Y.,** Huang G.Q., Lan S., Zhang T., Xu C. (2015) A two-level advanced production planning and scheduling model for RFID-enabled ubiquitous manufacturing // Advanced Engineering Informatics. Vol.29(4). Pp. 799-812.

## Приложения

ОБЩЕСТВО  
С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Завод приборных  
подшипников



MANUFACTURING  
COMPANY Ltd

Miniature Bearings  
Factory

Россия, 443072, г. Самара, Московское шоссе, 18км.  
Тел. (846) 973-31-31  
Факс (846) 973-30-74  
E-mail: [mbf@mbf-samara.ru](mailto:mbf@mbf-samara.ru)  
[www.mbf-samara.ru](http://www.mbf-samara.ru)

Moskovskoje Shosse, 18 km, 443072, Samara, Russia  
Tel +7-846-973-31-31  
Fax +7-846-973-30-74  
E-mail: [mbf@mbf-samara.ru](mailto:mbf@mbf-samara.ru)  
[www.mbf-samara.ru](http://www.mbf-samara.ru)

16 марта 2017 г. № 35-1030

На № \_\_\_\_\_  
от \_\_\_\_\_

## СПРАВКА

о внедрении результатов

диссертационной работы Егоровой Виктории Викторовны

на тему: «Оптимизационное моделирование параметров системы заказов  
производственных ресурсов машиностроительного предприятия»

Проблема, затронутая В.В. Егоровой в работе, является весьма актуальной. Результаты проведенного исследования были изучены на нашем предприятии и используются в целях повышения эффективности производственной деятельности. Разработанная модель позволила сформировать программу заготовления материалов, отпуска материалов и выпуска продукции таким образом, чтобы учитывались ограничения, связанные с неритмичностью заказов покупателей в течение планового периода

Внедрение авторской модели оптимизации системы заказов производственных ресурсов позволило сократить длительность производственного цикла и увеличить прибыль, иммобилизованную в остатках. Результаты, полученные В.В. Егоровой, имеют реальное практическое значение для предприятия: в результате сокращения производственного цикла на 112 дней, общий экономический эффект от иммобилизации оборотного капитала составил 5,8 млн. руб.

На основании этого считаем, что результаты диссертационной работы Егоровой В.В. имеют и теоретическую и практическую значимость для российских промышленных предприятий и дают возможность более рационального управления заказами в целях повышения эффективности производственной деятельности предприятия в современных условиях хозяйствования.

Заместитель директора  
ООО «Завод приборных подшипников»  
(по производству)



А.С. Базанов



**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY

Приложение Б.

УТВЕРЖДАЮ

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086  
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36  
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru  
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,  
ИНН 6316000632, КПП 631601001

И.о. проректора по учебной работе  
Доцент, к.ф.-м.н.

Гаврилов А.В.



20 17 г

№ \_\_\_\_\_

### СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы В.В. Егоровой  
на тему: «Оптимизационное моделирование параметров системы заказов  
производственных ресурсов машиностроительного предприятия»**

Результаты кандидатской диссертационной работы Егоровой В.В. внедрены в учебный процесс Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (Самарский университет) при реализации образовательных программ по направлению подготовки бакалавров «Бизнес-информатика» 38.03.05. в рамках следующих дисциплин:

1) в рамках дисциплины **«Моделирование управления в кризисах»:**

- при изучении темы «Экономический и финансовый анализ предприятия» рассматриваются понятия операционного и финансового циклов;

- при изучении темы «Методы и модели антикризисного управления» используются модели одного или нескольких бизнес-процессов на предприятии.

2) по дисциплине **«Модели ценообразования»** на занятиях по теме: «Модели ценообразования» рассматривается влияние этапа закупки производственных запасов на конечный финансовый результат деятельности предприятий.

3) по дисциплине **«Архитектура предприятия»** при изучении темы «Виды финансовых показателей» используются определения прибыли, выручки, длительности производственно-финансового циклов.

Результаты диссертационной работы В.В. Егоровой нашли отражение в учебно-методических работах, используемых в учебном процессе Самарского университета для освоения студентами соответствующих дисциплин:

– Егорова В.В., Гераськин М.И. Модели ценообразования: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 80 с.

– Егорова В.В., Гераськин М.И. Моделирование управления в кризисах: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 76 с.

/ Начальник управления  
обеспечения учебного процесса



Н.В. Соловова

И.о. заместителя директора института  
экономики и управления



Е.А. Блинова

доцент кафедры математических  
методов в экономике



О.А. Кузнецова