

На правах рукописи



**ХАМИДУЛЛИН Марат Раисович**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА,  
ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА УЧЕТ ЭФФЕКТА МАСШТАБА**

**Специальность:**

**08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук**

**Уфа – 2015**

Работа выполнена в Набережночелнинском институте (филиале) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» на кафедре математических методов в экономике

Научный  
руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
**Исавнин Алексей Геннадьевич**

Официальные  
оппоненты: доктор экономических наук, доцент  
**Бахитова Раиля Хурматовна**  
заведующий кафедрой математических методов в экономике  
ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»

кандидат экономических наук  
**Галиев Дамир Расилович**  
ПАО «АК БАРС» БАНК,  
ведущий экономист

Ведущая  
организация: ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань

Защита диссертации состоится 12 января 2016 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.09 на базе ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» и на сайте [www.ugatu.su](http://www.ugatu.su).

Автореферат разослан «7» ноября 2015 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор экономических наук, профессор



М.К. Аристархова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Согласно неоклассической экономической теории одним из основных факторов, оказывающих существенное влияние на эффективность деятельности предприятия, как производственно-экономической системы является масштаб производства. Термин «эффект масштаба» связан с изменением стоимости единицы продукции в зависимости от масштабов её производства предприятием. Теория эффекта масштаба берет свое начало в трудах А.Маршалла, который определил основные причины преимущества объединенных предприятий по сравнению с отдельной взятой компанией. При этом малые предприятия, которые находятся вблизи друг от друга, получают возможность успешно конкурировать с крупными предприятиями, в том числе за доступ к местным ресурсам. У такой совокупности малых предприятий возникает эффект экономии на масштабе производства (внешняя экономия), также как и в крупных предприятиях (внутренняя экономия).

Современное понимание теории эффекта масштаба, рассмотренной в работе М.Кэмп и П.Кругмана, объясняет, почему существует торговля между странами, которые одинаково наделены факторами производства. "Сокращение расходов на транспорт запускает процесс, при котором растущее население города приводит к увеличению производства продукции, большей заработной плате и диверсифицированным поставкам товаров, что, в свою очередь, стимулирует миграцию в города" — так вкратце сформулировал Норвежский Нобелевский комитет теорию Кругмана. Из общей экономической теории известно, что по мере возрастания объемов производства себестоимость единицы товара снижается. Снижение себестоимости продукции обеспечивается, прежде всего, за счет повышения производительности труда и повышения качества продукции. Проблемы качества неразрывно связаны с потерями от брака, экологическими затратами, утилизацией отходов предприятия.

Все больше экономистов сходятся во мнении, что классические теории уже не в состоянии объяснить современную международную торговлю, поскольку в России, как и в других странах, в первую очередь выделяют владение каким-либо важным естественным или производственным ресурсом, совершенно игнорируя главную причину – эффект масштаба, который в свою очередь оказывает существенное влияние на прибыль предприятия. С другой стороны, вторым фактором, способствующим увеличению объема реализации продукции и прибыли, является качество продукции. Качество продукции, в свою очередь, характеризуется наличием или отсутствием неизбежного брака. Для того, чтобы управлять браком, фирмы должны не просто учитывать их в составе затрат, а определять величину затрат от допущенного брака.

Экономическая значимость вышеуказанной проблемы и отсутствие инструментария ее разрешения, а также необходимость комплексных и методологических подходов к решению практической задачи моделирования плана производства, ориентированного на учет эффекта масштаба обусловили актуальность научной работы, определили цель и логику построения диссертационной работы.

**Степень научной разработанности темы.** Проблема оптимизации плана производства, ориентированного на эффект масштаба и выпуска неизбежного брака продукции с использованием альтернативных методов слабо исследована в отечественной науке. В основном отечественными учеными рассматриваются общие вопросы понимания эффекта масштаба производства, оценки эффекта масштаба на структуру отрасли, основы управления качеством продукции.

Анализ оптимальных методов для отдельно взятых экономических процессов показывает, что каждый метод решает и описывает определенную модель экономической системы. Большинство моделей не позволяют учесть влияние нескольких факторов на выпуск продукции (линейные модели). Такая ситуация свидетельствует о необходимости исследований по разработке методов для решения задач по производству продукции, в которых необходимо учитывать эффект масштаба производства, а также присутствие определенного процента брака.

К научным трудам отечественных и зарубежных авторов, которые являются теоретической основой диссертационного исследования, можно отнести следующие работы:

- Исследования в области планирования производства проводились в работах отечественных и зарубежных ученых и экономистов: Ильина А., Зайцева Н., Клейнера Г., Царева В., Захарченко В., Складенко В. и др.
- Весомый вклад в развитие и формирования современного понимания эффекта масштаба производства внесли: Маршалл А., Кругман П., Кэмп М., Кондратьев Н., Курно А., Баумоль У., Мартин Р., Маркс К., Пигу А., Смит А., Энгельс Ф., Эджуорт Ф., Марчионетти Р., Солоу У. и др.
- Подчеркивали существование как положительного, так и отрицательного эффекта масштаба следующие авторы: Бьянко А., Сломан Д., Сатклифф М. и др.
- Различным методам исследования оценки эффекта масштаба посвящены работы следующих авторов: Шилин И., Янов Я., Сачко Н., Грин У., Лившиц Р., Адамс Р., Берри Л., Ченг С., Дрейк Л. и др.
- Вопросы взаимосвязи эффекта масштаба производства рассмотрены в трудах российских и белорусских экономистов: Голубева А., Гусакова В., Давыденко Л., Шапиро С., Шимова В., Сайганова А. и др.
- Исследования в области качества продукции и снижение брака проводились в работах: Афанасьева В., Боярского А., Сажина Ю., Дружинина Н., Рябцева В., Деминга У., Фейгенбаума А. и др.
- Математические инструменты моделирования экономических процессов и исследования в области теории метода штрафных функций применяли следующие авторы: Первозванский А., Кузина Б., Пархоменко А., Герасимова Б., Курант Р., Понрягин Л., Сытник В., Заботин Я., Фукин И. и др.

**Целью исследования является:** моделирование планирования производства, ориентированное на учет эффекта масштаба производства.

Достижение указанной цели потребовало постановки и решения следующих **задач исследования:**

1. Разработать экономико-математическую модель планирования объемов производства, которая учитывает эффект масштаба и определенный процент брака продукции.

2. Разработать новые модифицированные методы и алгоритмы для реализации модели планирования производством, ориентированного на учет эффекта масштаба производства.

3. Разработать информационную систему поддержки принятия решений и поиска для модели оптимизации плана производства, которая позволяет получить максимальную прибыль.

**Объектом исследования** являются малые и крупные промышленные предприятия, как сложные производственно-экономические системы с многогранной деятельностью.

**Предмет исследования** в диссертационной работе составляют факторы, влияющие на процессы оптимизации плана производства на предприятиях, включающие информационное обеспечение принятия решений.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования.**

В работе использованы теоретические аспекты исследования. Практические решения задач базируются на экспериментальных данных и теоретических основах численных методов и экономической теории. Для трактовки всех определений, лемм и теорем в работе используются: теория математического анализа, математического программирования и численных методов. При решении оптимизационных и экономических задач использовались следующие методы: метод штрафных функций, метод сопряженных направлений, метод штрафных функций с использованием внешнеквадратичного штрафа.

При проектировании и разработке программного комплекса для поддержки принятия решений использовался язык программирования Borland Delphi 7.0.

**Научные результаты, выносимые на защиту.**

Основные научные результаты диссертационного исследования:

1. Предложена нелинейная экономико-математическая модель формирования оптимального плана производства, основанная на применении алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций и ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции.

2. Разработаны и предложены модифицированные методы, позволяющие сформировать эффективные решения комплексного планирования процессов производства и реализации продукции, основанные на методе штрафов.

3. Разработана система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции с целью получения максимального дохода и прибыли. При проектировании и разработке системы поддержки принятия решений использовался объектно-ориентированный язык программирования Borland Delphi 7.0.

**Научная новизна исследования.**

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложена экономико-математическая модель формирования оптимального плана производства, основанная на применении алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций и ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции, которая отличается нелинейной моделью затрат ресурсов, что позволяет оптимизировать уровень необходимых запасов, план производства и реализации продукции.

2. Для реализации модели планирования производства, ориентированного на учет эффекта масштаба производства разработаны и предложены модифицированные алгоритмы метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций, основанные на методе штрафов, которые отличаются видом возрастающей функций и способом изменения роста коэффициента штрафа, позволяющие сформировать эффективные решения комплексного планирования процессов производства и реализации продукции с целью обеспечения прибыльности предприятия.

3. На основе алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций разработана система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции с целью получения максимального дохода и прибыли. Система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства позволяет вычислить максимальную прибыль с учетом эффекта масштаба производства и выпуском некоторого количества бракованной продукции. На программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации. Реализованная система допускает интегрирование с информационными системами предприятий.

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.**

Выводы и положения диссертационного исследования могут быть использованы на крупных и малых предприятиях при разработке оптимального плана производства, ориентированного на учет эффекта масштаба производства и выпуска определенного количества бракованной продукции; высшими учебными заведениями при чтении лекций и проведении практических занятий для дисциплин, использующих математические методы в экономике и менеджмента. Разработанная система может быть использована: руководителями, экономистами - для принятия управленческих решений и расчета

максимальной прибыли предприятия с учетом выпуска брака и эффекта масштаба производства.

**Результаты исследований, представленные в диссертации, соответствуют пунктам паспорта специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики по следующим пунктам раздела «Области исследований»:**

1.1. Разработка и развитие математического аппарата анализа экономических систем: математической экономики, эконометрики, прикладной статистики, теории игр, оптимизации, теории принятия решений, дискретной математики и других методов, используемых в экономико-математическом моделировании.

1.2. Теория и методология экономико-математического моделирования, исследование его возможностей и диапазонов применения: теоретические и методологические вопросы отображения социально-экономических процессов и систем в виде математических, информационных и компьютерных моделей.

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.

2.3. Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях.

**Апробация работы.** Основные тезисы и выводы научной работы докладывались и получили положительную оценку на следующих конференциях и научных семинарах:

1. Итоговая научная конференция Казанского федерального университета, Набережные Челны, 2009-2010 г.
2. Республиканская научно-практическая конференция «Наука, технологии и коммуникации в современном обществе», Набережные Челны, 2011 г.
3. Международная научно-практическая конференция «Современные исследования и развитие - 2012», София 2012, Болгария.
4. Труды II Международной молодежной научно-практической конференции «Научно-практические исследования и проблемы современной молодежи», Елабуга, 2010 г.
5. Всероссийская научно-практическая конференция «V Камские чтения», Набережные Челны, 2013 г.

Проведена апробация разработанных моделей и инструментальных средств на предприятии ОАО «Лизинговая компания КАМАЗ». Полученные результаты позволили определить влияние эффекта масштаба и выпуска брака на выбор оптимального плана производства. Имеются акты внедрения.

**Публикации.** Основные положения и выводы исследования опубликованы в 14 научных работах, в том числе в 4 рецензируемых журналах из «Перечня ВАК...», 2 статьи в международной базе данных Scopus, в монографии. Получено свидетельство о

государственной регистрации программного комплекса «Программа для решения задач выпуклого программирования алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций» (№ 18069), основанного на результатах диссертационного исследования.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Библиографический список состоит из 125 наименований. Общий объем составляет 135 страниц, содержит 21 рисунок, 12 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность работы, которая заключается в том, что при выпуске продукции необходимо учитывать два важных фактора производства - наличие брака продукции и эффекта масштаба производства, которые оказывают существенное влияние на принятие решений для получения максимальной прибыли. Построение модели планирования производства, которая учитывает брак продукции и эффект масштаба производства могут быть представлены с помощью алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций. Определены цели, задачи, объект и предмет диссертационного исследования, раскрыта и определена научная новизна диссертационного исследования, представлена теоретическая и методологическая основа исследования. Отмечена теоретическая и практическая значимость исследования.

**В первой главе** рассмотрены линейная и нелинейная модели планирования производства. В первой части работы рассмотрена линейная экономико-математическая модель без учета выпуска бракованной продукции и эффекта масштаба производства. Во второй части рассмотрена нелинейная оптимизационная модель планирования, учитывающая влияние двух факторов на производство - выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства. Построены и рассмотрены математические модели, как для линейной, так и для нелинейной структуры. Эффект масштаба, как и выпуск бракованной продукции – это те факторы, которые оказывают существенное влияние на оптимальные планы выпуска продукции. Недооценка фактора выпуска брака и эффекта масштаба производства могут приводить к неадекватным значениям оптимального выпуска продукции. Наличие брака при выпуске продукции существенно снижает суммарный объем выпуска продукции, и соответственно ведет к уменьшению прибыли предприятия.

**Вторая глава** включает в себя основные понятия математического анализа и выпуклого программирования, основные теоремы и леммы для построения задачи выпуклого программирования. Рассмотрены основные аспекты построения алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций, которые позволяют решать задачу определения максимальной прибыли, с учетом эффекта масштаба и выпуском бракованной продукции. Показана меньшая трудоемкость методов по сравнению с другими методами нелинейной оптимизации.

**Третья глава** посвящена разработке программного комплекса для поддержки принятия решений по планированию производства, с учетом эффекта масштаба и

выпуском бракованной продукции. На примере предприятия ОАО «Лизинговая компания КАМАЗ», рассмотрена задача оптимального планирования, где учитывается эффект масштаба и выпуск бракованной продукции. Произведена оценка влияния выпуска брака и эффекта масштаба производства на получение максимальной прибыли.

**В заключении** изложены основные научные результаты и выводы диссертационного исследования.

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

**1. Предложена экономико-математическая модель формирования оптимального плана производства, основанная на применении алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций и ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции, которая отличается нелинейной моделью затрат ресурсов, что позволяет оптимизировать уровень необходимых запасов, план производства и реализации продукции.**

Любое производство сопровождается выпуском дефектной или бракованной продукции, или попросту браком. Как и на производство годной продукции, на выпуск брака также затрачиваются ресурсы, однако они затрачиваются впустую. Увеличение бракованной продукции приводит к большим затратам производства и, как следствие, ведет к росту себестоимости выпускаемой продукции и уменьшению прибыли предприятия.

Построим экономико-математическую модель оптимального планирования производства с максимизацией дохода, которая учитывает выпуск бракованной продукции для случая выпуска двух видов продукции  $A_1$  и  $A_2$ , на производство которых расходуются три вида ресурсов  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ . Введем следующие обозначения:

- $x_1$  и  $x_2$ , усл.ед. – объемы выпуска продукции  $A_1$  и  $A_2$  (переменные математической модели) (усл.ед. могут означать например килограммы, тонны, метры, штуки и т.д.);
- $a_{ij}$  - затраты  $i$ -ого ресурса  $S_i$  ( $i=1,2,3$ ), расходуемого на производство одной усл.ед.  $j$  – й продукции  $A_j$  ( $j=1,2$ );
- $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$ , усл.ед.- объемы ресурсов, имеющиеся на складе;
- $c_1$  и  $c_2$ , ден. ед. / усл.ед. – ожидаемая прибыль от реализации одной усл. ед. продукции  $A_1$  и  $A_2$ .

На выпуск бракованной продукции затрачиваются те же ресурсы, что и на выпуск всей продукции. Учитывая, что ресурсы ограничены и то, что часть ресурсов идет на выпуск бракованной продукции, объемы ресурсов сокращаются для выпуска продукции без брака, что приводит к уменьшению объемов выпуска продукции. Полный расход ресурса  $S_i$  ( $i=1,2,3$ ) можно записать в виде:

$$V_0 = V_1 + V_2, \quad (1)$$

$V_0$  – объем расходуемого ресурса  $S_i$ ;

$V_1$  – объем ресурса  $S_i$ , расходуемого на выпуск годной продукции;

$V_2$  – объем ресурса  $S_i$ , расходуемого на выпуск брака.

Причины возникновения бракованной продукции многочисленны и разнообразны, зависят от технологии производства, носят случайный характер и т.д.

Для построения экономико-математической модели, учитывающей выпуск бракованной продукции, примем следующее допущение: объем брака увеличивается с ростом объемов производства продукции. Тогда объем ресурса  $S_i$  ( $i=1,2,3$ ), расходуемого на производство годной продукции  $A_j$  ( $j=1,2$ ) в объеме  $x_j$ , а также брака, складывается из двух частей, одна из которых объемом  $a_{ij}x_j$  идет на производство только годной продукции, а другая – объемом  $k_{ij}x_j^2$ , расходуется на производство бракованной продукции. Расход ресурсов зависит от многих факторов: сложности продукции, применяемой технологии, типа производства, квалификации работников и т.д. Однако расход ресурсов и количество бракованной продукции являются случайными величинами. Полученная модель, описывающая затраты ресурсов при наличии брака, может быть обоснована следующими соображениями.

Предположим, что расход ресурса в зависимости от объема выпуска продукции  $x$  описывается некоторой функцией  $f(x)$ , имеющей производные до второго порядка включительно. Объем произведенной продукции является случайной величиной  $x(\omega)$  (где  $\omega$  – элементарные события из пространства элементарных событий  $\Omega$ ) и равен сумме двух величин: объема годной продукции  $x_0(\omega)$  и объема бракованной продукции  $x_6(\omega)$ , т.е.  $x(\omega) = x_0(\omega) + x_6(\omega)$ . Величина  $x_0(\omega)$  имеет ожидаемое значение  $x_0$ , и дисперсию  $\sigma_0^2$ , а  $x_6(\omega)$  – ожидаемое значение  $x_6 = 0$  и дисперсию  $\sigma_6^2$ . Необходимо учесть, что количество брака существенно меньше количества выхода годной продукции, т.е.  $x_0(\omega) \gg x_6(\omega)$ . Разложим функцию  $f(x)$  в ряд Тейлора, получим:

$$\{\text{Расход ресурса}\} = f(x) \approx f(x_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x_0} (x - x_0) + \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{x_0} (x - x_0)^2 + \dots$$

Применяя к обеим частям последнего соотношения оператор математического ожидания  $M(\cdot)$  и учитывая, что  $M(x(\omega) - x_0(\omega)) = x_6 = 0$  и  $M(x(\omega) - x_0(\omega))^2 = M(x_6^2(\omega)) = \sigma_6^2$ , находим ожидаемый расход ресурса при выпуске годной продукции с учетом выпуска брака:

$$\{\text{Ожидаемый расход ресурса}\} = f(x_0) + \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{x_0} \sigma_6^2.$$

Первый член в правой части этого выражения представляет собой объем ресурса, затрачиваемого на производство годной продукции,  $f(x_0) = ax_0$ , а второй – расход ресурса идущего на выпуск бракованной продукции. Обозначив  $\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{x_0} = b$ , получим:

$$\{ \text{Ожидаемый расход ресурса} \} = ax_0 + b \sigma_6^2.$$

Введя коэффициент вариации  $v = \sigma_6 / x_0$ , характеризующий разброс случайной величины выпуска бракованной продукции, получим окончательную математическую модель, описывающую объем ресурса, затрачиваемого на выпуск годной продукции при наличии брака:

$$ax_0 + kx_0^2,$$

где  $k = bv^2$  – коэффициент, характеризующий интенсивность расхода ресурса при выпуске одной усл.ед. бракованной продукции; при устоявшейся технологии его можно считать постоянным.

Коэффициент  $k_{ij}$  характеризует интенсивность изменения расхода ресурса  $i$  при выпуске одной усл.ед.брака для продукции  $A_j$ . Следовательно, суммарный доход ресурса  $S_i$ , затрачиваемого одновременно и на выпуск годной продукции вида  $A_j$ , и на выпуск бракованной продукции, равен сумме  $a_{ij}x_j + k_{ij}x_j^2$ .

Так как ресурс вида  $S_i$  затрачивается как на производство продукции  $A_1$ , так и на производство продукции  $A_2$ , то полный объем затраченного ресурса  $S_i$  составит величину  $a_{i1}x_1 + k_{i1}x_1^2 + a_{i2}x_2 + k_{i2}x_2^2$ . Учитывая, что объемы используемых ресурсов  $S_1, S_2$  и  $S_3$  ограничены переменными  $b_1, b_2$  и  $b_3$ , запишем систему ограничений математической модели, которая наряду с выпуском продукции учитывает также и выпуск брака:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + k_{11}x_1^2 + a_{12}x_2 + k_{12}x_2^2 \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + k_{21}x_1^2 + a_{22}x_2 + k_{22}x_2^2 \leq b_2, \\ a_{31}x_1 + k_{31}x_1^2 + a_{32}x_2 + k_{32}x_2^2 \leq b_3. \end{cases}$$

Второй фактор, который оказывает существенное влияние на оптимальный план производства, является так называемый эффект масштаба производства. Эффект масштаба производства заключается в том, что с ростом объема выпуска продукции, себестоимость ее уменьшается, а доход и прибыль от ее реализации увеличивается. Благодаря эффекту масштаба, прибыль от реализации одной усл. ед. продукции растет с увеличением объема производимой продукции. Построим экономико-математическую модель учитывающую фактор масштаба производства.

Общая прибыль от реализации одной усл. ед. продукции вида  $A_j$  ( $j=1,2$ ) складывается из двух компонентов. Первая компонента равна  $c_j$  и не учитывает эффект масштаба производства (линейная модель), а вторая – так называемая «добавочная

прибыль, обусловленная эффектом масштаба производства» - равна  $l_j x_j$ , где коэффициент  $l_j$  выражает интенсивность изменения прибыли одной усл.ед. продукции  $A_j$  с ростом объема ее выпуска. Так как общая прибыль от реализации одной усл.ед. продукции  $A_j$ , обусловленная эффектом масштаба производства, равна  $c_j + l_j x_j$ , то общая прибыль от реализации всей годной продукции  $A_j$ , выпущенной в объеме  $x_j$ , составит  $(c_j + l_j x_j) x_j$ . Следовательно, суммарная прибыль от реализации годной продукции  $A_1$  и  $A_2$  (целевая функция), выпущенная в объемах  $x_1$  и  $x_2$  составит величину  $(c_1 + l_1 x_1)x_1 + (c_2 + l_2 x_2)x_2$ . Таким образом целевая функция представляет собой нелинейную функцию. Следовательно, экономико-математическая модель, учитывающая выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства выглядит:

$$F=(c_1+l_1x_1)x_1+(c_2+l_2x_2)x_2\rightarrow\max, \quad (2)$$

а система ограничений:

$$\begin{cases} a_{11}x_1+k_{11}x_1^2+a_{12}x_2+k_{12}x_2^2\leq b_1, \\ a_{21}x_1+k_{21}x_1^2+a_{22}x_2+k_{22}x_2^2\leq b_2, \\ a_{31}x_1+k_{31}x_1^2+a_{32}x_2+k_{32}x_2^2\leq b_3. \end{cases} \quad (3)$$

Данная математическая модель (2), (3) является нелинейной оптимизационной математической моделью, учитывающей выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства.

*ОАО «КАМАЗ» и немецкий концерн «ZF» открыли новый корпус совместного предприятия «ЦФ КАМА» по производству коробок передач. Предприятие ОАО «Лизинговая компания КАМАЗ» - является дочерним предприятием ОАО «КАМАЗ» предлагает покупку продукции в лизинг. «ЦФ КАМА» производит два вида коробок передач Ecosplit-16s151 и Ecosplit - 16s1820 при этом использует 369 видов деталей для сборки коробок. Производство продукции, помимо годной продукции, сопровождается также выпуском определенного количества брака. Благодаря немецким технологиям и инновациям производителю «ЦФ КАМА» удалось добиться эффекта масштаба производства, в результате которого с увеличением объемов выпускаемой продукции снижается ее себестоимость и растет прибыль.*

*В табл. 1.1 приведены численные значения затрат ресурсов на производство одной усл.ед. (шт.) годной продукции (коэффициенты  $a_{ij}$ ) и затраты ресурсов на производство одной усл.ед. (шт.) бракованной продукции (коэффициенты  $k_{ij}$ ). Значения прибыли (млн. руб) от реализации одной усл.ед. (шт.) продукции без учета (коэффициенты  $c_j$ ) и с учетом (коэффициенты  $l_j$ ) эффекта масштаба производства приведены в таблице (1.2). Требуется найти оптимальный план производства продукции, т.е. объемы выпуска*

$x_1$  и  $x_2$  годной продукции коробок передач Ecosplit -16s151 и Ecosplit - 16s1820, обеспечивающий максимальную суммарную прибыль.

Таблица 1.1

Расход ресурсов при производстве одной усл. ед.(шт.) продукции Ecosplit-16s151 и Ecosplit - 16s1820

Ресурсы (запчасти)	№	Расход ресурсов на производство одной усл.ед. (шт.) годной ( $a_{ij}$ ) и бракованной ( $k_{ij}$ ) продукции Ecosplit- 16s151 и Ecosplit - 16s1820 , усл.ед. (шт.)				Ограничения на ресурсы (запчасти) ( $b_i$ ), усл.ед
		Ecosplit-16s151		Ecosplit - 16s1820		
		$a_{i1}$	$k_{i1}$	$a_{i2}$	$k_{i2}$	
ПНЕВМОГИДРА ВЛИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ ВЫКЛЮЧЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ	1	2,9	0,0026	8,7	0,0073	4582
БОЛТ М10х110	2	3,2	0,0032	9,1	0,0023	4769
БОЛТ М10х140	3	2,5	0,0056	8,8	0,0045	4436
БОЛТ М10х28	4	4,1	0,0039	3,2	0,0022	4563
БОЛТ М10х35 Z1	5	3,4	0,0027	2,7	0,0065	3345
БОЛТ М10х40	6	2,6	0,0044	4,8	0,0032	3896
БОЛТ М10х50	7	3,1	0,0022	3,5	0,0014	3980
.....	....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	....	.....	.....	.....	.....	.....
ШТОК ВКЛЮЧЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЯ	363	4,2	0,0022	3,1	0,0039	4368
ШТОК ВКЛЮЧЕНИЯ ДЕМУЛЬТИПЛИ КАТОРА	364	8,5	0,0065	3,3	0,0027	3097
ШТОКИ ВИЛКА ВКЛЮЧЕНИЯ ЗАДНЕГО ХОДА	365	7,3	0,0032	2,7	0,0044	3543
ШТОКИ ВИЛКА ВКЛЮЧЕНИЯ ПЕРВОЙ И	366	6,2	0,0014	2,3	0,0022	4125

ВТОРОЙ ПЕРЕДАЧИ						
ШТОКИ ВИЛКА ВКЛЮЧЕНИЯ ТРЕТЬЕЙ И ЧЕТВЕРТОЙ ПЕРЕДАЧИ	367	3,4	0,0067	3,6	0,0074	4279
ШТОК МЕХАНИЗМА ПЕРЕКЛЮЧЕНИ Я ПЕРЕДАЧ	368	2,7	0,0035	2,3	0,0087	3492
ШТУЦЕР М10х1	369	2,3	0,0022	4,2	0,0024	3987

В таблице 1.1 представлена номенклатура запчастей для изготовления коробок передач *Ecosplit-16s151* и *Ecosplit-16s1820*. Номенклатура состоит из 369 наименований.

**Таблица 1.2**

*Прибыль от реализации одной усл. ед. продукции Ecosplit-16s151 и Ecosplit-16s1820*

<b>Прибыль от реализации одной усл.ед. (шт.) продукции Ecosplit-16s151 и Ecosplit-16s1820, учитывающая (<math>l_j</math>) и не учитывающая (<math>c_j</math>) эффект масштаба производства, млн.руб.</b>			
<b>Ecosplit-16s151</b>		<b>Ecosplit-16s1820</b>	
$c_1$	$l_1$	$c_2$	$l_2$
140	0,09	433	0,017

Математическая модель учитывающая выпуск брака и эффект масштаба производства имеет вид (2), (3). Подставляя в нее заданные значения параметров, получим:

$$F=140x_1+0,09x_1^2+433x_2+0,017x_2^2 \rightarrow \max ,$$

где F – целевая функция, значения для нее взяты из таблицы 1.2,

и система из 369 ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 2,9x_1+0,0026x_1^2+8,7x_2+0,0073x_2^2\leq 4582, \\
 3,2x_1+0,0032x_1^2+9,1x_2+0,0023x_2^2\leq 4769, \\
 2,5x_1+0,0056x_1^2+8,8x_2+0,0045x_2^2\leq 4436, \\
 \dots\dots\dots \\
 2,6x_1+0,0044x_1^2+4,8x_2+0,0032x_2^2\leq 3896, \\
 3,1x_1+0,0022x_1^2+3,5x_2+0,0014x_2^2\leq 3980, \\
 \dots\dots\dots \\
 2,7x_1+0,0035x_1^2+2,3x_2+0,0087x_2^2\leq 3492, \\
 2,3x_1+0,0022x_1^2+4,2x_2+0,0024x_2^2\leq 3987, \\
 x_1\geq 0, x_2\geq 0.
 \end{array} \right.$$

Значения для ограничений взяты из таблицы 1.1, система построена по виду (3).

Преобразуем задачу к виду:

$$f(x) \rightarrow \min, \quad (4)$$

с ограничениями:

$$f_i(x) \leq 0, \quad i \in I, \quad (5)$$

$$F = -140x_1 - 0,09x_1^2 - 433x_2 - 0,017x_2^2 \rightarrow \min,$$

где  $F$  – целевая функция, значения для нее взяты из таблицы 1.2 со знаком «-», так как решается задача на минимум.

а система ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 2,9x_1+0,0026x_1^2+8,7x_2+0,0073x_2^2-4582\leq 0, \\
 3,2x_1+0,0032x_1^2+9,1x_2+0,0023x_2^2-4769\leq 0, \\
 2,5x_1+0,0056x_1^2+8,8x_2+0,0045x_2^2-4436\leq 0, \\
 \dots\dots\dots \\
 2,6x_1+0,0044x_1^2+4,8x_2+0,0032x_2^2-3896\leq 0, \\
 3,1x_1+0,0022x_1^2+3,5x_2+0,0014x_2^2-3980\leq 0, \\
 \dots\dots\dots \\
 2,7x_1+0,0035x_1^2+2,3x_2+0,0087x_2^2-3492\leq 0, \\
 2,3x_1+0,0022x_1^2+4,2x_2+0,0024x_2^2-3987\leq 0, \\
 x_1\geq 0, x_2\geq 0.
 \end{array} \right.$$

Значения для ограничений взяты из таблицы 1.1, система построена по виду (3). Путем математических преобразований ограничения приводятся к виду (5).

Решаем задачу алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций. Неполная минимизация означает, что процесс минимизации осуществляется по эвристическому критерию. В качестве вспомогательной функций, использовалась функция:  $F(x, C) = f(x) + CV(x)$ ,  $C > 0$ , где  $C$  – штрафной параметр, гарантирующий попадание точки минимума вспомогательной функций в множество  $D(p)$ , а  $V(x)$  – функция штрафа. В работе рассмотрены штрафные функции, построенные для некоторого множества, погруженного в допустимое. В качестве такого множества принято множество  $D(p) = \{x \in R_n : f_i(x) + p < 0, i \in I\}$ ,  $p > 0$ .

**Замечание.** В работе Фукина И.А., Заботина Я. И. было сформулировано определение  $p$  – аппроксимируемости функций, обобщающее понятие  $p$  – регулярности ограничений задач математического программирования. Также было доказано, что для любого  $\varepsilon > 0$  существует  $p > 0$ , такое что неравенство

$$|f(x(C)) - f^*| \leq \varepsilon \quad (6)$$

выполняется при всех  $C > 0$ , таких что  $x(C) \in D(0)$ .

Где  $D(0)$  выпуклое и замкнутое множество, удовлетворяет условию Слейтера.

Приложение

Файл Операций Справка

Целевая функция  $F(x) \rightarrow -140 \cdot x_1 - 9/100 \cdot x_1^2 - 433 \cdot x_2 - 17/100 \cdot x_2^2$

Начальная точка  $X_1$

$x[1]$	1	2
$x[2]$	1	

Ограничения  $+p \leq 0$

365	$73/10 \cdot x_1 + 32/1$	69
366	$62/10 \cdot x_1 + 14/1$	
367	$34/10 \cdot x_1 + 67/1$	
368	$27/10 \cdot x_1 + 35/1$	
369	$23/10 \cdot x_1 + 22/1$	

Число итераций 10

E 0,0001

Delta 0,000005

S 2

Const A 10

Delta' 0,00001

Parameters

$0 < j < 1$  0,5

Betta 1

Выбор алгоритма

Алгоритм 1

Алгоритм 2

Алгоритм 3

Алгоритм 4

Алгоритм 5

Алгоритм 6

Решение задачи

1

1

$F(x_0) = -573.26$

Точка минимума X:

120.109705226993

8.40534321150714

$F(x) = -21765.2535235015$

Общее число итераций SUM = 498

Загрузить Решить

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР НАУКА XXI

**Рис 1. Решение задачи планирования производства, учитывающей выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства**

Результаты численного решения этой нелинейной математической модели имеют вид:  $x_1 = 120,1$ ,  $x_2 = 8,4$ ,  $F_{max} = 21,7$  млн. руб.

Полученные оптимальные значения переменных модели и максимальное значение целевой функции означают, что для достижения максимального значения суммарной прибыли ( $F_{max} = 21,7$  млн. руб.) при наличии выпуска бракованной продукции и эффекта масштаба производства, необходимо производить 120 (шт.) коробок передач Ecosplit-16s151 и 8 (шт.) коробок передач Ecosplit-16s1820.

Чтобы оценить влияние выпуска брака и эффекта масштаба, сравним оптимальные планы и, максимальную прибыль для трех вариантов производства (Таблица 1.3):

1. Выпуск брака и эффект масштаба отсутствуют. Операция моделируется линейной моделью.
2. Производство сопровождается браком и эффектом масштаба. Операция моделируется нелинейной моделью
3. Производство сопровождается выпуском брака, но эффект масштаба отсутствует.

**Таблица 1.3**

*Сравнение оптимальных планов для трех вариантов производства*

Варианты производства	Оптимальные объемы выпуска $x_1$ , $x_2$ (усл.ед.) продукции Ecosplit-16s151 и Ecosplit-16s1820 и максимальная суммарная прибыль $F_{max}$ (млн. руб)		
	$x_1$	$x_2$	$F_{max}$
1. Брак и эффект масштаба отсутствуют	153	12	33,2
2. Сопровождается выпуском брака и эффектом масштаба производства	120	8	21,7
3. Сопровождается выпуском брака и эффектом масштаба отсутствует	136	17	17,6

Из таблицы 1.3 видно, что наличие бракованной продукции при выпуске существенно снижает суммарный объем выпуска качественной продукции, а эффект масштаба приводит к увеличению максимальной прибыли и оказывает существенное влияние на оптимальные планы выпуска продукции. Пренебрежение влиянием как фактом выпуска брака и эффекта масштаба производства приводит к неадекватным значениям оптимального выпуска продукции, значительно отличающихся от реальных.

**2. Для реализации модели планирования производства, ориентированного на учет эффекта масштаба производства разработаны и предложены модифицированные алгоритмы метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций, основанные на методе штрафов,**

которые отличаются видом возрастающей функций и способом изменения роста коэффициента штрафа, позволяющие сформировать эффективные решения комплексного планирования процессов производства и реализации продукции с целью обеспечения прибыльности предприятия.

В диссертации рассмотрена задача (4) – (5), где определено множество  $D = \{x \in R_n : f_i(x) \leq 0, i = \overline{1, m}\}$ . Данная задача решается с заданной по  $f(x)$  точностью  $\varepsilon > 0$ . Используется вспомогательная функция:

$$F(x, C) = f(x) + CV(x), C > 0$$

В работе рассмотрены штрафные функции, построенные для некоторого множества, погруженного в допустимое. Если в качестве такого множества принять  $D(p) = \{x \in R_n : f_i(x) + p < 0, i \in I\}, p > 0$ , то функция штрафа может иметь следующий вид:

$$V(x) = \sum_{i=1}^m (\max\{0, f_i(x) + p\})^2, p > 0 \quad (7)$$

**Определение 1.** Множество  $X^*$  назовем множество допустимых  $\varepsilon$  - оптимальных решений задачи (1) – (2).

Для оценки параметра  $p$  необходимы следующие дополнительные условия.

**Условие а)** Функция  $g(x) = \min\{f_i(x), i = \overline{1, m}\}$  является равномерно выпуклой на множестве  $D(0)$  с неубывающим модулем выпуклости  $\delta(t)$ .

**Условие б)** Существуют числа  $p' \in (0, \bar{p})$ , где  $\bar{p} \in (0, -\inf\{g(x), x \in R_n\})$ , и  $\bar{f} > \min_{x \in D(p')} f(x)$  такие, что множество  $D(p') \cap Q(\bar{f})$  ограничено, где  $Q(t) = \{x \in R_n : f(x) \leq t\}$ .

**Условие с)** Существует число  $\bar{p} \in (0, -\inf\{g(x), x \in R_n\})$  такое, что функция цели  $f(x)$  удовлетворяет на множестве  $D(0) \cap Q(\bar{f})$  условию Липшица с константой  $L$ ,

где  $f_p = \min_{x \in D(p)} f(x)$ .

**Модифицированный алгоритм 1.** Задается требуемая точность решения  $\varepsilon > 0$ ,  $x_0 \in R_n$ , натуральное число  $N$ , число  $\delta \in (0, \varepsilon)$ . Выбирается

$0 < p \leq \min(\frac{\beta\gamma\bar{\alpha}}{(V(x^*) - \gamma^2\bar{\alpha})L}, p', \bar{p})$ , возрастающая функция  $\varphi(t)$  такая, что  $\varphi(1) \geq 0$ ,

$\varphi(N) = \frac{Lp}{\beta s(1-s)^{s-1}\bar{\alpha}^p}$ . Полагается  $k = 1$ .

1. Вычисляется  $C_k = \varphi(k)$ .

2. Если  $k < N$ , то находится приближенное решение задачи  $\min_{x \in R_n} F(x, C_k)$ .

Переход к шагу 1 при  $k$ , измененном на  $k + 1$ .

3. Если  $k = N$ , то находится точка  $x_N \in A(\bar{\alpha})$ , являющаяся  $\delta$ -оптимальным по функционалу решением задачи  $\min_{x \in R_n} F(x, C_N)$ . Точка  $x_N$  принимается в качестве  $\varepsilon$ -решения задачи (1) – (2).

**Модифицированный алгоритм 2.** Задается требуемая точность решения  $\varepsilon > 0$ ,  $x_0 \in R_n$ , натуральное число  $N$ , число  $\delta \in (0, \varepsilon)$ . Выбирается  $0 < p \leq \min\left(\frac{\beta\gamma(\varepsilon - \delta)}{(1 - \gamma^2)L}, p', \bar{p}\right)$ , возрастающая функция  $\varphi(t)$  такая, что  $\varphi(1) \geq 0$ ,  $\varphi(N) = \frac{Lp}{\beta s(1 - \gamma)^{s-1} \bar{\alpha}^p}$ . Полагается  $k = 1$ . Выбирается функция штрафа вида

$$V(x) = \max\{g(x) + p, 0\}^s, s \geq 1.$$

1. Вычисляется  $C_k = \varphi(k)$ .

2. Если  $k < N$ , то находится приближенное решение задачи  $\min_{x \in R_n} F(x, C_k)$ .

Переход к шагу 1 при  $k$ , измененном на  $k + 1$ .

3. Если  $k = N$ , то находится точка  $x_N \in A(\bar{\alpha})$ , являющаяся  $\delta$ -оптимальным по функционалу решением задачи  $\min_{x \in R_n} F(x, C_N)$ . Точка  $x_N$  принимается в качестве

$\varepsilon$ -решения задачи (1) – (2).

$L$  - константа Липшица для функций  $f(x)$ , определенных на множестве  $G$ ,  $L > 0$ ,

$|f(x) - f(y)| < L \|x - y\|$ ,  $\forall x, y \in G$  и  $G \subset R_n$ ;

$\beta, \gamma$  - параметры аппроксимаций, где  $\gamma \in [0, 1)$  и  $\beta > 0$ ;

$\delta^l(p)$  - функция, обратная к модулю выпуклости  $\delta(p)$  и  $0 < p < \hat{p}$ ;

$C_k$  - коэффициент штрафа вычисленный по следующему правилу:  $C_k = a * k$ , где

$a$  - параметр, используемый для вычисления коэффициентов штрафа;

множество  $A(\bar{\alpha})$  - аппроксимация допустимого множества;

$g(x)$  - функция равномерно выпуклая на множестве  $D(0)$  с неубывающим модулем выпуклости  $\delta(p)$ ;

выпуклое и замкнутое множество  $D(0)$  удовлетворяет условию Слейтера, т.е.  $\{x : x \in R, g(x) < 0\} = \emptyset$ ;

точка  $x^* \in \text{Argmin}\{f(x), x \in D(0)\}$ ;

$\hat{p}$  - число, где  $\hat{p} \in (0, -\inf\{g(x), x \in R_n\})$ ;

$p'$  - число, где  $p' \in (0, \bar{p})$ , где  $\bar{p} \in (0, -\inf\{g(x), x \in R_n\})$ ;

$V(x)$  - функция штрафа;

$k$  - номер итераций;

$\bar{\alpha}$  - число, где  $\bar{\alpha} = \max\{\alpha: A(\alpha) \subset D(0)\}$ ;

$\delta(t)$  – модуль выпуклости функций ( $0 \leq t \leq \text{diam}G = \sup_{x,y \in G} |x - y|$ ), где  $G$  – выпуклое

множество и  $G \subset R_n$ ;

**3. На основе алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций разработана система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции с целью получения максимального дохода и прибыли. Система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства позволяет вычислить максимальную прибыль с учетом эффекта масштаба производства и выпуском некоторого количества бракованной продукции. Система допускает интегрирование с информационной системой предприятия ОАО «Лизинговая компания КАМАЗ».**

Программный комплекс (ПК) для ЭВМ позволяет осуществить поиск оптимального плана производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, учитывающих влияние нескольких факторов производства (выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства) с целью получения максимального дохода и прибыли. Приложение имеет интуитивный и понятный интерфейс для любого пользователя программного комплекса.

Основные функций ПК:

1. Позволяет осуществлять ввод начальных данных (целевую функцию, системы ограничений).
2. Позволяет осуществлять ввод управляемых параметров, влияющих на решение задачи.
3. Позволяет выбрать оптимальный и менее трудоемкий алгоритм решения в модели планирования производства, учитывающий выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства.
4. Позволяет получить прогнозируемую максимальную прибыль.
5. Позволяет экспортировать данные в файл.
6. Позволяет импортировать данные в систему.
7. Отправить на печать результаты решения задачи.
8. Позволяет быстро решать многие другие задачи выпуклого программирования.
9. Программный комплекс имеет контекстное меню для удобства использования.
10. Система позволяет задать число ограничений, как вручную, так и автоматически.

Принятие управленческих решений в планировании производства, ориентированного на учет эффекта масштаба происходит последовательно. Изначально на основе известных данных строится экономико-математическая модель. Процесс работы с программы начинается с главного окна, в котором необходимо ввести данные –

целевую функцию, систему ограничений, входные параметры, выбрать начальную точку и конечное число итераций. Далее необходимо выбрать оптимальный алгоритм из списка представленных алгоритмов. «Решить» рассчитать оптимальный план производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, учитывающих влияние нескольких факторов производства (выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства) (Рис 1). Полученное оптимальное решение можно экспортировать в файл, после чего провести анализ данных относительно выпуска продукции и получения максимальной прибыли.

Программный комплекс имеет синтаксический анализатор математических формул, что позволяет решать многие задачи выпуклого программирования.

Разработанная система на основе алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций может быть использована: руководителями, экономистами, бухгалтерами - для принятия управленческих решений и расчета максимальной прибыли предприятия с учетом выпуска брака и эффекта масштаба производства; при проведении практических занятий для дисциплин, использующих математические методы в экономике и менеджмента.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

К наиболее важным результатам, которые определили научную новизну и значимость проведенного исследования, можно отнести следующее:

1. Предложена экономико-математическая модель формирования оптимального плана производства, основанная на применении алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций и ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции, которая отличается нелинейной моделью затрат ресурсов, что позволяет оптимизировать уровень необходимых запасов, план производства и реализации продукции.

2. Для реализации модели планирования производства, ориентированного на учет эффекта масштаба производства разработаны и предложены модифицированные алгоритмы метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций, основанные на методе штрафов, которые отличаются видом возрастающей функций и способом изменения роста коэффициента штрафа, позволяющие сформировать эффективные решения комплексного планирования процессов производства и реализации продукции с целью обеспечения прибыльности предприятия.

3. На основе алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций разработана система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства и реализации продукции при ограниченных ресурсах, ориентированная на учет эффекта масштаба и выпуск бракованной продукции с целью получения максимального дохода и прибыли. Система поддержки принятия решений и поиска оптимального плана производства позволяет вычислить максимальную прибыль с

учетом эффекта масштаба производства и выпуском некоторого количества бракованной продукции. На программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации. Система допускает интегрирование с информационными системами предприятий.

4. Проведена апробация разработанных моделей и инструментальных средств на предприятии ОАО «Лизинговая компания КАМАЗ». Полученные результаты позволили определить влияние эффекта масштаба и выпуска брака на выбор оптимального плана производства.

5. Наличие бракованной продукции при выпуске существенно снижает суммарный объем выпуска качественной продукции.

6. Эффект масштаба приводит к увеличению максимальной прибыли и оказывает существенное влияние на оптимальные планы выпуска продукции.

7. Пренебрежение влияния как фактом выпуска брака и эффекта масштаба производства приводит к неадекватным значениям оптимального выпуска продукции, значительно отличающихся от реальных.

**Перспективы дальнейшей разработки темы** заключаются в изучении применения алгоритмов в других сферах деятельности, разработка улучшенных и простых методов решения экономических задач и задач выпуклого программирования, изменения мультипликативных параметров, сравнение эффективности с другими методами и моделями.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

1. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Программный комплекс для решения задачи об оптимальном управлении запасами алгоритмами метода штрафов // Вестник Ижевского государственного технического университета. -2012, №3 (55), с.130-132.
2. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Решение ряда экономических задач алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций // Экономический анализ: теория и практика. -2012, № 20 (275), с.62-66.
3. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Практическое применение алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций для решения задачи об оптимальном распределении ресурсов // В мире научных открытий. -2012, № 8, с.127-139.
4. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. О модели планирования производства, учитывающей выпуск бракованной продукции и эффект масштаба производства» // Экономика и предпринимательство, 2014, №12 (3), с.484-489.

#### **Статьи в международной базе данных Scopus (Скопус)**

5. Isavnin A.G., Khamidullin M.R. Determining of total expenses for the objective of equipment replacement // Life Science Journal, 2014, №11 (6), pp.704-706.

6. Isavnin A.G., Khamidullin M.R. Economy of scale and production of rejects in the production planning model // Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, Vol.6, №2, p.267-276.

### Монография

7. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Некоторые алгоритмы метода штрафных функций и их применение для решения экономических задач // LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, 2014, Saarbrücken, Germany, ISBN 978-3-659-61146-9, 145 p.

### Другие публикации

8. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Метод определения затратных ресурсов в задаче об оптимальном управлении запасами // Электронное периодическое научное издание (Интернет-журнал) "Социально-экономические и технические системы", - №1(63), - 2013. Режим доступа: URL: <http://www.sets.ru> (дата обращения 15.02.2013)

9. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Об алгоритмах метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций // Материалы международной научно-практической конференции «Настоящие исследования и развитие - 2012», 17-25 января 2012, София, Болгария, с.74-79.

10. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Модификация алгоритмов метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций для решения некоторых экономических задач // Материалы республиканской научно-практической конференции «Наука, технологии и коммуникации в современном обществе», Набережные Челны, 31 января-4 февраля 2011. – том 1. – с.220-223.

11. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Программная реализация решения задач выпуклого программирования алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций // Электронное периодическое издание (Интернет-журнал) «Образование и наука Закамья Татарстана», - №18 (сентябрь), - 2010. Режим доступа: URL: <http://www.naustat.ru> (дата обращения 20.06.2012)

12. Исавнин А.Г. Хамидуллин М.Р. Возможность решения некоторых экономических задач алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций // Труды II Международной молодежной научно-практической конференции «Научно-практические исследования и проблемы современной молодежи», 23-24 декабря 2010 г., Елабуга, том 1, с. 201-202.

13. Исавнин А.Г. Хамидуллин М.Р. Минимизация издержек хранения товарных запасов с применением алгоритмов метода штрафных функций //Всероссийская научно-практическая конференция «V Камские чтения», Набережные Челны, 2013 г.

14. Исавнин А.Г., Хамидуллин М.Р. Программа для решения задач выпуклого программирования алгоритмами метода штрафных функций с неполной минимизацией вспомогательных функций // Свидетельство о регистрации электронного ресурса №18069 от 28.03.2012 г. Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование»

Диссертант



Хамидуллин М.Р.

ХАМИДУЛЛИН Марат Раисович

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ОРИЕНТИРОВАННОЕ  
НА УЧЕТ ЭФФЕКТА МАСШТАБА

Специальность:

08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук