

**Монгуш Байлакмаа Сергеевна**

**ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ  
ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства  
(текстильная и легкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2021

Работа выполнена на кафедре экономики и финансов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Научный руководитель: **Богданов Александр Иванович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», профессор кафедры экономики и финансов

Официальные оппоненты: **Буре Владимир Мансурович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт - Петербургский государственный университет», профессор кафедры математической теории игр и статистических решений

**Шеховцов Олег Иванович**, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», доцент кафедры информационных систем

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»

Защита диссертации состоится «20» апреля 2021 г. в 10.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.236.07 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, <http://sutd.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета \_\_\_\_\_ Переборова Нина Викторовна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Продукция предприятий легкой промышленности неизменно пользуется устойчивым спросом со стороны потребителей, однако в общем объеме промышленного производства Российской Федерации доля легкой промышленности по официальным данным Федеральной службы государственной статистики составляет лишь 0,7%. Высокие объемы поставок дешевого импорта из Китая, Турции, Индии и других стран являются серьезным препятствием для развития предприятий отрасли. Разработанный проект «Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2025 года», направленный на стимулирование развития отечественного производства конкурентоспособных товаров с высокой добавленной стоимостью, может стать одним из факторов развития отрасли. В частности, предполагается рост объема отгруженных товаров легкой промышленности с 520,6 млрд. руб. в 2019 г. до 631 млрд. руб. в 2025 г.

Для дальнейшего развития российской легкой промышленности особую актуальность приобретает рассмотрение вопросов, связанных с разработкой механизма управления формированием конкурентоспособной продукции. Это невозможно без рассмотрения новых подходов и методов в управлении, применения методов математического моделирования. При этом следует обратить особое внимание на современные методы управления предприятием, которые основаны на логистических принципах оптимальной организации производства и распределения готовой продукции. Применение логистических принципов к организации производства обеспечивает максимизацию общей прибыли за счет интегрированного системного подхода. Нет сомнения в том, что методы и модели оптимизации бизнес-процессов предприятия на основе интегрированного подхода требуют на сегодняшний день обновления и совершенствования.

### **Степень научной разработанности проблемы**

Теории и методологии моделирования организации производственно-транспортно-складских процессов посвящены работы зарубежных и отечественных исследователей: Р. Баллоу, Д. Бауэрсокса и Д. Клосса, М. Кристофера, Д.М. Ламберта, Дж. Р. Стока, Д. Уотерса, А. Гаррисона, Р. ванГока, Дж. Шапиро, Б.А. Аникина, В.И. Бережного, И.В. Бережной, А.А. Бочкарева, Е.В. Будриной, А.М. Гаджинского, В.В. Дыбской, Е.И. Зайцева, В.К. Козлова, В.С. Лукинского, Л.Б. Миротина, А.Г. Некрасова, Ю.М. Неруша, В.И. Сергеева, А.Н. Стерлиговой, С.А. Хруцкого и др.

Несмотря на внушительное количество исследований по логистике и теории управления промышленным предприятием на основе логистических принципов, а также на различие постановок задач управления как отдельными процессами, так и интегрированными бизнес-процессами предприятия остается открытым вопрос учета стохастических показателей при планировании и организации производства.

### **Цель и задачи исследования**

Целью исследования автора является совершенствование частных методов и моделей оптимизации организации производственно-транспортно-складских процессов предприятия, а также разработка интегрированной модели оптимизации организации бизнес-процессов предприятия в условиях как детерминированного, так и случайного спроса.

Для достижения общей цели в работе были поставлены и решены следующие **задачи**:

- провести анализ существующих оптимизационных моделей бизнес процессов промышленного предприятия;

- разработать математическую модель оптимизации производственного процесса, учитывающую нелинейность зависимости доходов и затрат от объема выпуска продукции в детерминистической и стохастической постановках;

- разработать модель оптимизации транспортно-складской задачи для случая нескольких складов с применением аппарата кластерного анализа в детерминистической и стохастической постановках;

- разработать интегрированную математическую модель оптимизации производственно-транспортно-складской системы предприятия;

- провести анализ существующих методов прогнозирования и обосновать выбор методов для прогнозирования случайной величины спроса в стохастических математических моделях оптимизации транспортно-складской и производственно-транспортно-складской задачах;

- провести апробацию разработанных математических моделей на ряде предприятий легкой промышленности Республики Тыва.

**Теоретической и методологической основой** диссертации послужили методологические основы и положения, содержащиеся в научных трудах ведущих отечественных и зарубежных классиков в области экономики, менеджмента, логистики, математического моделирования, а также материалы периодических изданий и научных конференций.

В качестве инструментов исследования использовались методы математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории принятия статистических решений, логистического менеджмента, инструментарий геоинформационных систем и др.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 05.02.22 – Организация производства (текстильная и лёгкая промышленность) ВАК Министерства образования и науки РФ и соответствует следующим его пунктам:

- 1- Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятия и организация производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов;

3- Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов;

9- Разработка методов и средств организации производства в условиях технических и экономических рисков;

11- Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

**Научная новизна исследования** заключается в разработке новых частных и интегрированных (производственно-транспортно-складских) математических моделей оптимизации бизнес-процессов, в том числе стохастических, учитывающих случайный характер спроса на продукцию со стороны потребителей.

Основные результаты, характеризующие научную новизну диссертационной работы:

1. Проведен анализ состояния легкой промышленности Российской Федерации и обоснована необходимость использования логистического подхода и математического моделирования при организации производственно-транспортно-складских процессов предприятия.

2. Предложена нелинейная математическая модель оптимизации плана производства, учитывающая зависимость цены и себестоимости продукции от объема производства. При этом в качестве кривой зависимости цены от объема выпуска продукции (функции, обратной кривой спроса) предложено использовать убывающую степенную функцию, параметры которой в каждом конкретном случае могут быть оценены на основании статистических данных методом наименьших квадратов.

3. Предложена стохастическая модель планирования производства, в которой спрос на продукцию предприятия является случайной величиной с математическим ожиданием, определяемым функцией спроса  $\varphi(p_i)$ . При этом предприятие имеет возможность устанавливать как планируемые объемы выпуска продукции  $q_i$ , так и их цены  $p_i$ .

4. Предложена математическая модель оптимизации транспортно-складской задачи для случая нескольких складов, при решении которой применяется аппарат кластерного анализа. При каждом конкретном количестве складов  $m$  задача сводится к оптимизации разбивки всех потребителей на группы обслуживания складов  $G_k$  ( $k = 1, \dots, m$ ) и по определению точек места расположения складов.

5. Для одновременного нахождения оптимального разбиения  $G_1, G_2, \dots, G_m$  и оптимального набора координат складов предлагается итерационный алгоритм, последовательно осуществляющий выбор оптимальных (по отношению к разбиению, полученному на предыдущем шаге) координат складов, а затем разбиения, оптимального при местах расположения складов, полученных на предыдущем шаге.

6. Предложена математическая модель оптимизации производственно-транспортно-складской задачи, использующая тот же итерационный алгоритм.

7. Предложены стохастические транспортно-складская и производственно-транспортно-складская модели, учитывающие вероятностный характер спроса.

8. Проведен анализ методов прогнозирования и обоснован выбор методов для прогнозирования случайной величины спроса.

**Научная значимость работы** состоит в теоретическом обосновании подхода и разработке новых нелинейных, стохастических и интегрированных моделей оптимизации бизнес-процессов на стадии организации производства.

**Практическая значимость работы** заключается в прикладном характере научных положений и выводов диссертационной работы, конструктивном характере предложенных моделей и методов при разработке и принятии управленческих решений в процессе организации производства, что позволит снизить издержки и получить существенный экономический эффект.

Материалы диссертационной работы могут быть полезны для использования следующим категориям специалистов:

- руководителями предприятий в практической деятельности;
- преподавателями высшей школы для разработки программ учебных дисциплин «Экономика предприятия», «Методы принятия управленческих решений», «Методы оптимальных решений», «Логистика» и др.

#### **Апробация работы.**

Результаты диссертационной работы доложены автором на следующих конференциях: Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности» (СПб., СПГУТД, 2008), научно – практической конференции молодых ученых «Социально – экономическое развитие и перспективы России: исследования молодых ученых» (Новосибирск, ИЭ ОПИ СО РАН, 2009), III Всероссийской молодежной школе – конференции с международным участием «Природные системы и экономика Центрально – Азиатского региона: фундаментальные проблемы, перспективы рационального использования» (Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2017), II Международной научно – практической конференции «Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура» (Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2017), III Международной научно – практической конференции «Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура» (Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2019).

Апробация диссертационной работы проведена на основании данных, полученных на предприятиях ООО «Кызылское УПП» и дизайн – мастерской «Тыва Стиль». Акты внедрения результатов исследования приведены в приложении к диссертации.

#### **Публикации**

По материалам диссертационной работы опубликовано 13 научных работ (включая 3 статьи из перечня изданий, рекомендованных ВАК Министерства

науки и высшего образования РФ и 1 работу в периодическом издании из базы данных Scopus), общим объемом 4,5 п.л., в т.ч. 3,6 п.л. автора.

**Личный вклад автора** заключается в разработке частных и интегрированных математических моделей оптимизации организации производственно-транспортно-складских процессов промышленного предприятия, реализующих их алгоритмов и компьютерных программ, сборе информации, проведении расчетов на ряде предприятий легкой промышленности Республики Тыва и интерпретации полученных результатов.

#### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основная часть изложена на 143 страницах печатного текста, включает 35 таблиц, 21 рисунок, библиография насчитывает 109 наименований.

**Во введении** показана актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, раскрыта его теоретическая и информационная база, научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** «Теоретические аспекты организации производства на предприятиях легкой промышленности» проведен анализ современного состояния легкой промышленности Российской Федерации, определены особенности отраслевой производственной структуры, обозначены проблемы развития отрасли и пути решения этих проблем.

Основными проблемами развития отрасли являются высокая себестоимость и низкая конкурентоспособность готовой продукции. Для повышения конкурентоспособности и успешного развития отечественных предприятий легкой промышленности необходимо внедрение логистических принципов, основанных на методе вовлечения отдельных взаимосвязанных бизнес-процессов в интегрированный процесс бизнеса. В качестве инструмента управления бизнес-процессами выступает исследование объекта по его математической модели. Анализ имеющихся моделей бизнес-процессов предприятия показал, что существует необходимость разработки интегрированных математических моделей, реализующих логистический принцип глобальной оптимизации и интеграции бизнес-процессов предприятия, а именно производства, складирования и транспортировки.

**Во второй главе** проведен анализ и предпринята попытка классификации типовых моделей планирования производства и транспортных процессов, а также разработаны и предложены модели оптимизации производственного процесса, учитывающие особенности легкой промышленности.

*Предложена нелинейная математическая модель оптимизации плана производства, учитывающая зависимость цены и себестоимости продукции от объема производства. При этом в качестве кривой зависимости цены от объема выпуска продукции предложено использовать убывающую степенную функцию, параметры которой в каждом конкретном случае могут быть*

оценены на основании статистических данных методом наименьших квадратов.

На рынке несовершенной конкуренции, к которому относится и рынок изделий легкой промышленности, каждая фирма является монополистом своих моделей продукции и имеет убывающую кривую спроса по каждому конкретному товару:

$$q_i = \varphi(p_i), \quad (1)$$

где  $p_i$ ,  $q_i$  – цена и объем производства  $i$ -го товара.

В качестве функции, обратной к кривой спроса, использовалась убывающая степенная функция

$$P_i = \frac{a_i}{q_i^{\alpha_i}} (a_i > 0; 0 < \alpha_i < 1). \quad (2)$$

Тогда прибыль от реализации  $i$ -го вида продукции (без учета постоянных затрат)

$$\Pi'_i = \left( \frac{a_i}{q_i^{\alpha_i}} - AVC_i \right) q_i = a_i q_i^{1-\alpha_i} - AVC_i q_i, \quad (3)$$

где  $AVC_i$  – средние переменные затраты на единицу продукции.

Условие оптимизации  $q_i$  при отсутствии ограничений имеет вид:

$$\frac{d\Pi'_i}{dq_i} = a_i(1 - \alpha_i)q_i^{-\alpha_i} - AVC_i = 0 \quad (4)$$

Отсюда оптимальный объем производства  $i$ -го вида продукции

$$q_i^0 = \exp \left\{ \ln \left( \frac{a_i(1-\alpha_i)}{AVC_i} \right) / \alpha_i \right\}. \quad (5)$$

В реальной ситуации, найденный по формуле (5) оптимальный объем производства  $q_i^0$  для малой фирмы с ограниченными производственными возможностями может быть недостижим в силу ряда ограничений. Прежде всего, это ограничения по возможности использования оборудования. Могут быть и другие ограничения, но, в любом варианте, имеется задача с нелинейным критерием, который необходимо максимизировать, и линейными или нелинейными ограничениями, т.е. задача нелинейного программирования. Для ее решения использовалась компьютерная программа, реализующая метод обобщенного приведенного градиента.

*Предложена модель планирования производства, в которой спрос на продукции предприятия является случайной величиной с математическим ожиданием, определяемым функцией спроса  $\varphi(p_i)$ .*

Рассмотрим постановку, в которой спрос на продукции предприятия является случайной величиной с математическим ожиданием, определяемым функцией спроса  $\varphi(p_i)$ . При этом предприятие имеет возможность устанавливать как планируемые объемы выпуска продукции  $q_i$ , так и их цены  $p_i$ , ( $i=1, \dots, n$ ).

Доход предприятия от  $i$ -го вида продукции  $D_i$  будет зависеть от того, превзойдет или нет случайная величина спроса  $q_i^*$  объем выпуска продукции

$$D_i = \begin{cases} p_i q_i^*, & \text{если } q_i^* < q_i \\ p_i q_i, & \text{если } q_i^* \geq q_i \end{cases}.$$

Математическое ожидание дохода от  $i$ -го вида продукции

$$M(D_i) = p_i \int_0^{q_i} q_i^* f(q_i^*) dq_i^* + p_i q_i \int_{q_i}^{\infty} f(q_i^*) dq_i^*. \quad (6)$$



а математическое ожидание прибыли от всей продукции

$$M(\Pi) = \sum_{i=1}^n \{ p_i \int_0^{q_i} q_i^* f(q_i^*) dq_i^* + p_i q_i \int_{q_i}^{\infty} f(q_i^*) dq_i^* - AVC_i q_i \} - FC, \quad (7)$$

где  $f(q_i^*)$  - плотность распределения вероятностей случайной величины спроса,  $FC$  – постоянные затраты.

Учитывая, что величина спроса не может быть отрицательной, в качестве закона распределения случайной величины спроса использовалось  $\beta$ -распределение с параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ .

При этом в нашей задаче задано математическое ожидание спроса  $\varphi(p_i)$ . Поэтому

$$M(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = \frac{\varphi(p_i)}{q_{i\max}^*}.$$

Учитывая сложности со сбором значительного объема статистической информации, а также наличие трудоемкой процедуры вычисления интегралов в итерационных алгоритмах оптимизации, упростим данную задачу. Частным случаем  $\beta$ -распределения при  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$  является равномерное распределение, при котором

$$M(X) = \frac{1}{2} = \frac{\varphi(p_i)}{q_{i\max}^*}.$$

Следовательно,  $q_{i\max}^* = 2\varphi(p_i)$ , и  $f(q_i^*) = \frac{1}{2\varphi(p_i)}$  при  $0 \leq q_i^* \leq 2\varphi(p_i)$ .

Тогда

$$M(\Pi) = \sum_{i=1}^n \{ p_i q_i - p_i \frac{1}{2\varphi(p_i)} \frac{q_i^2}{2} - AVC_i q_i \} - FC. \quad (8)$$

Для решения этой оптимизационной задачи использовалась та же компьютерная программа, что и для оптимизации в нелинейной детерминистической модели планирования производства.

**В третьей главе** «Интегрированные математические модели оптимальной организации производственно-транспортно-складских процессов» рассмотрены интегрированные математические модели транспортно-складских и производственно-транспортно-складских процессов предприятия.

*Предложена математическая модель оптимизации транспортно-складской задачи для случая нескольких складов с применением аппарата кластерного анализа.*

В качестве критерия качества кластеризации используются суммарные затраты на транспортировку со всех складов:

$$Z = \sum_{k=1}^m \sum_{i \in G_k} z(i, k) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где  $z(i, k)$  - затраты на доставку продукции с  $k$ -го склада  $i$ -му потребителю;

$m$  – количество складов;

$G_k$  – группа обслуживания  $k$ -го склада.

Задача минимизации суммарного пробега машин при развозке грузов со склада (координаты  $(x, y)$ ) в ряд пунктов с координатами  $(x_i, y_i)$  ( $i \in G_k$ ) представлена в следующем виде: предполагается, что потребность пункта в некотором товаре в единицу времени можно трактовать как величину, пропорциональную количеству поездок  $n_i$

$$n_i = \alpha \sum_{l=1}^L b_{il} c_l, \quad (10)$$

где  $b_{il}$  – потребность  $i$ -го потребителя в  $l$ -ой продукции ( $i=1, \dots, n; l=1, \dots, L$ ),  
 $c_l$  – вес единицы  $l$ -ой продукции.

Задача сводится к минимизации функции

$$Z_k = \sum_{i \in G_k} 2n_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (11)$$

по переменным  $x$  и  $y$ .

Это достигается решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dZ_k}{dx} = \sum_{i \in G_k} 2n_i \frac{(x-x_i)}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} = 0 \\ \frac{dZ_k}{dy} = \sum_{i \in G_k} 2n_i \frac{(y-y_i)}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

При каждом конкретном количестве складов  $m$  задача сводится к оптимизации разбивки всех потребителей на группы обслуживания складов  $G_k$  ( $k = 1, \dots, m$ ) и по определению точек места расположения складов. Для одновременного нахождения оптимального разбиения  $G_1, G_2, \dots, G_m$  и оптимального набора координат складов предложен итерационный алгоритм, последовательно осуществляющий выбор оптимальных (по отношению к разбиению, полученному на предыдущем шаге) координат складов, а затем разбиения, оптимального при местах расположения складов, полученных на предыдущем шаге.

*Предложена математическая модель оптимизации производственно-транспортно-складской задачи, использующая описанный выше итерационный алгоритм.*

В модели используются следующие обозначения:

$G_k$  – множество потребителей, обслуживаемое  $k$ -ой фабрикой ( $k=1, \dots, m$ );

$q_{kl}$  – объем производства  $l$ -ой продукции на  $k$ -ой фабрике;

$FC_k$  – постоянные издержки  $k$ -ой фабрики.

Прибыль от реализации продукции (без учета затрат на транспортировку) для  $k$ -ой фабрики составляет

$$\Pi_k = \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l) q_{kl} - FC_k, \quad (13)$$

где

$$q_{kl} = \sum_{i \in G_k} b_{il}.$$

Затраты на транспортировку продукции  $k$ -ой фабрики составляют

$$Z_k = C \sum_{i \in G_k} \rho_{ik} \sum_{l=1}^L b_{il} c_l, \quad (14)$$

где  $\rho_{ik}$  – расстояние от  $k$ -ой фабрики до  $i$ -го потребителя;

$C$  – стоимость перевозки единицы веса на единицу расстояния.

Сформулирован критерий оптимизации производственно-транспортно-складской задачи

$$\Pi = \sum_{k=1}^m (\Pi_k - Z_k) \rightarrow \max. \quad (15)$$

Показано, что

$$\Pi = A - m * FC - \sum_{k=1}^m Z_k$$

где

$$A = \sum_{l=1}^L (P_l - AVC_l) \sum_{k=1}^m \sum_{i \in G_k} b_{il} = const,$$

Таким образом, критерий оптимизации примет вид

$$Q = \sum_{k=1}^m Z_k + m * FC \rightarrow \min. (16)$$

Решение производственно-транспортно-складской задачи осуществляется с использованием того же итерационного алгоритма, что и для транспортно – складской задачи.

*Предложены стохастические транспортно-складская и производственно-транспортно-складская модели, учитывающие вероятностный характер спроса*

При стохастической постановке задачи нахождения оптимального месторасположения складской сети решение получается при переходе от математического ожидания общих затрат к математическим ожиданиям спроса.

$$M(Z_k) = M \left( \sum_{i \in G_k} 2\alpha q_i^* \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right) = \sum_{i \in G_k} 2\alpha M(q_i^*) \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \rightarrow \min. (17)$$

Критерий оптимизации производственно-транспортно - складской задачи можно представить в виде:

$$M(Q) = \sum_{k=1}^m M(Z_k) + m * FC,$$

$$M(Z_k) = 2\alpha \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^L M(b_{il}) c_l \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \rightarrow \min. (18)$$

При решении задачи использовался описанный выше итерационный алгоритм.

*Проведен анализ методов прогнозирования и обоснован выбор методов для прогнозирования случайной величины спроса.*

В условиях отсутствия статистической информации прогноз спроса следует связывать с внешними факторами, такими как, например, уровень доходов населения, численность населения и пр. Для оценки влияния факторов на результирующий показатель можно воспользоваться методом цепных отношений:

$$Q = \frac{ND\beta}{P}, (19)$$

где  $Q$ – величина спроса на конкретный товар за год;

$D$ - средний годовой доход на душу населения;

$\beta$ - коэффициент, учитывающий долю данного товара в объеме потребления;

$P$  – цена товара.

Это позволяет считать величину спроса в районных центрах пропорциональной численности населения районов.

**В четвертой главе проведена апробация моделей оптимизации производственных процессов на ООО «Кызылское УПП»**

Для решения задачи оптимизации плана производства продукции по критерию максимизации прибыли были проведены маркетинговые исследования и построены экспериментальные кривые спроса на основную продукцию предприятия.

Для оценки параметров кривых спроса произведена линеаризация зависимостей

$$p_i = \frac{A_i}{q_i^{\alpha_i}}$$

путем логарифмирования обеих частей уравнения. Тогда

$$\ln(p_i) = \ln(A_i) - \alpha_i \ln(q_i).$$

Это позволило использовать обычный метод наименьших квадратов для оценки параметров моделей  $A_i$ ,  $\alpha_i$  с применением стандартной программы ЛИНЕЙН системы EXCEL.

Получены оценки параметров кривых спроса для всех изделий. Отметим, что все параметры моделей были статистически значимыми, а также что все модели были статистически значимыми в целом по критерию Фишера. Коэффициенты детерминации также были достаточно высокими (не менее 0,85).

В таблице 1 приведены результаты расчетов по определению оптимального объема производства в детерминистической и стохастической постановках, выполненных в программе EXCEL.

Таблица 1 - Результаты расчетов по оптимизации плана производства ООО «Кызылское УПП»

Наименование продукции	Реальные объемы производства	Оптимальный объем производства в детерминистической задаче	Оптимальный объем производства в стохастической задаче
	$q_0$	$q^*$	$q^{**}$
Матрасы ватные, шт	4926	8317	7318
Одеяло ватное, шт	2591	3330	3209
Постельное белье, шт	16469	2492	2278
Рукавицы рабочие, шт	635	827	681
Спецодежда, шт	826	1240	730
Подушка, шт	472	769	591
Нижнее белье, шт	550	0	3
<b>ПРИБЫЛЬ от реализации, руб</b>	<b>21 736 382</b>	<b>25 218 924</b>	<b>24 119 746</b>

В результате апробации модели оптимизации плана производства на ООО «Кызылское УПП» (таблица 1) получены следующие результаты: при детерминистической постановке – увеличение прибыли предприятия на 16%; при стохастической постановке, наиболее соответствующей действительности (объем спроса – случайная величина) – увеличение прибыли предприятия на 11%.

*Проведена апробация интегрированных моделей оптимизации производственно-транспортно-складских процессов на предприятии «Тыва стиль».*

Дизайн-мастерская «Тыва стиль» - молодое, динамично развивающееся предприятие малого бизнеса, специализация которого – производство стилизованной национальной тувинской одежды для взрослых и детей, а также подарочных наборов для новорожденных в национальном стиле. Для решения оптимизационной производственно-транспортно-складской задачи с помощью EXCEL и компьютерной программы на языке программирования VBA проведены расчеты по кластеризации муниципальных районов РТ. В результате, при двух кластерах, в первый кластер вошли 8 населенных пунктов с центром в точке с координатами (91,564; 51,283) (что практически совпадает с координатами г.Чадаан), во второй кластер вошли 10 населенных пунктов с центром в точке с координатами (94,449; 51,725) (что практически совпадает с координатами г.Кызыл). Полученные итоги расчетов представлены на рисунке 1 с помощью инструментария геоинформационных систем (ГИС). Отчетливо видно, что решение задачи кластеризации разделило районы РТ по близости к полученным центрам кластеров.



Рисунок 1. Итоги расчетов по компьютерной программе с применением ГИС

При трех и более цехах со складами (трех и более кластерах) в результате расчетов получено разбиение предприятий на зоны обслуживания, которое несколько снижает транспортные затраты, но увеличивает при этом затраты на аренду складских помещений и общие затраты.

Таким образом, рассмотренный вариант с двумя кластерами является оптимальным и позволяет снизить транспортно-складские затраты по сравнению с сегодняшней ситуацией на 8 %.

**В заключении** отражены основные результаты диссертационного исследования в виде научных выводов.

**В приложениях** приведены акты внедрения результатов диссертационной работы и тексты компьютерных программ.

## ВЫВОДЫ

1. Основными проблемами легкой промышленности являются: высокая себестоимость и низкая конкурентоспособность готовой продукции. Для преодоления этих проблем необходимо внедрение логистических подходов к управлению, основанных на принципе глобальной оптимизации и построении интегрированных оптимизационных моделей организации бизнес-процессов, охватывающих производство, складирование и транспортировку продукции.

2. Математические модели производственных систем предполагают постоянство прибыли от единицы продукции, однако, как цена, так и себестоимость продукции могут зависеть от объема ее выпуска (закон спроса и закон масштаба производства соответственно). Поэтому необходима разработка нелинейных математических моделей оптимизации планирования производства с учетом указанных выше зависимостей.

Имеются попытки создания транспортно-складских моделей, однако до сих пор в существующей литературе по логистике нет полной ясности в том, каким методом необходимо определять координаты склада, чтобы решение такой задачи соответствовало получению минимального значения целевой функции, и тем самым обеспечить оптимальное расположение склада относительно своих потребителей и поставщиков. Полностью отсутствует решение задачи для случая нескольких складов.

3. Предложена нелинейная математическая модель оптимизации плана производства, учитывающая зависимость цены и себестоимости продукции от объема производства. При этом в качестве кривой зависимости цены от объема выпуска продукции (функции, обратной кривой спроса) предложено использовать убывающую степенную функцию, параметры которой в каждом конкретном случае могут быть оценены на основании статистических данных методом наименьших квадратов.

4. Предложена стохастическая модель планирования производства, в которой спрос на продукцию предприятия является случайной величиной с математическим ожиданием, определяемым функцией спроса  $\varphi(p_i)$ . При этом предприятие имеет возможность устанавливать как планируемые объемы выпуска продукции  $q_i$ , так и их цены  $p_i$ . В качестве критерия оптимизации в данной модели используется математическое ожидание прибыли. Получено аналитическое выражение для математического ожидания прибыли в общем виде при произвольном законе распределения спроса на продукцию и, в частности, при равномерном законе распределения спроса.

5. Предложена математическая модель оптимизации транспортно-складской задачи для случая нескольких складов с применением аппарата кластерного анализа. При каждом конкретном количестве складов  $m$  задача сводится к оптимизации разбивки всех потребителей на группы обслуживания складов  $G_k$  ( $k = 1, \dots, m$ ) и по определению точек места расположения складов. Для одновременного нахождения оптимального разбиения  $G_1, G_2, \dots, G_m$  и оптимального набора координат складов предлагается итерационный алгоритм, последовательно осуществляющий выбор оптимальных (по отношению к

разбиению, полученному на предыдущем шаге) координат складов, а затем разбиения, оптимального при местах расположения складов, полученных на предыдущем шаге.

6. Предложена математическая модель оптимизации производственно-транспортно-складской задачи, использующая тот же итерационный алгоритм.

7. Разработан стохастический вариант транспортно-складской и производственно-транспортно-складской модели, который отличается от детерминистического аналога использованием вместо фиксированных потребностей математического ожидания случайных величин потребностей при идентичных алгоритмах решения задачи.

8. Проведен анализ методов прогнозирования и обоснован выбор методов для прогнозирования случайной величины спроса.

9. Апробированы модели оптимизации плана производства в ООО «Кызылское УПП». В результате проведенных расчетов при детерминистической постановке прибыль от реализации продукции увеличивается на 16%, а при стохастической постановке, наиболее соответствующей действительности (объем спроса – случайная величина), на 11%.

10. Апробированы модели оптимизации производственно-транспортно-складских процессов на примере дизайн-мастерской «Тыва стиль» - развивающегося предприятия РТ. В результате проведенных исследований увеличивается объем производства предприятия до 500 000 готовых изделий в год, что превышает начальные показатели в 3 раза. Показано, что оптимальным является вариант двух цехов (двух кластеров) с центрами в городах Кызыл и Чадаан, который снижает общие транспортно-складские расходы на 8 %, чем при наличии существующего цеха со складом в г. Кызыл.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:*

1. Макаров, А.Г., Интегрированные модели бизнес-процессов / А.Г. Макаров, А.И. Богданов, Л.Н. Никитина, Б.С. Монгуш // Технология текстильной промышленности. (серия «Известия высших учебных заведений»). – 2019. – №6 (384) – С. 62-65 (Scopus);

2. Монгуш, Б.С. Транспортная инфраструктура Республики Тыва: современное состояние и перспективы развития / Б.С. Монгуш // Журнал БТИ – Бюллетень транспортной информации. – 2012. - № 8 (206). – С. 25 – 28;

3. Богданов, А.И. Оптимизация плана производства предприятия легкой промышленности Республики Тыва / А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Вестник Санкт – Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1 «Естественные и технические науки» – 2017. – №.4. - С. 133 – 136;

4. Богданов, А.И. Нелинейные математические модели оптимизации плана производства предприятия легкой промышленности / А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – №4. – С. 21-25.

*Прочие публикации:*

5. Богданов, А.И. Оптимизация места расположения складов с помощью кластерного анализа /А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Вестник СПГУТД, Серия 1. Естественные и технические науки. - 2018. - № 4. - С. 19-23;

6. Богданов, А.И. Математические модели оптимизации производственно – транспортно – складских процессов / А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Вестник СПГУТД, Серия 1. Естественные и технические науки. - 2019. - № 1. - С. 16-21;

7. Монгуш, Б.С. Модели и проблемы решения транспортно – складских задач / Б.С. Монгуш // Журнал БТИ – Бюллетень транспортной информации. – 2017. - №5 (263). - С. 27-29;

8. Монгуш, Б.С. Нелинейная задача оптимизации плана производства / Б.С. Монгуш // Природные ресурсы, среда и общество. – 2019.- № 3. – С. 50-55;

9. Монгуш, Б.С. Методы и модели теории управления запасами /Б.С. Монгуш, А.И. Богданов// «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности», Всероссийская науч. – техн. конф. (2008; СПб), С.74-79 ;

10. Монгуш, Б.С. Анализ и проблемы определения понятия «логистический поток» / Б.С. Монгуш // Социально – экономическое развитие и перспективы России: исследования молодых ученых: материалы научно-практической конференции молодых ученых (12-14 октября 2009г.). – Новосибирск: ИЭ ОПП СО РАН, 2009. – С. 109-112;

11. Монгуш, Б.С. Состояние легкой промышленности Республики Тыва / Б.С. Монгуш // Природные системы и экономика Центрально – Азиатского региона: фундаментальные проблемы, перспективы рационального использования: материалы III Всероссийской молодежной школы конференции с международным участием (26 - 28 сентября 2017г.). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. - С. 124-126;

12. Богданов, А.И. Математическая модель оптимального плана производства / А.И. Богданов, Б.С. Монгуш // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: материалы II Международной научно-практической конференции (18-20 октября 2017г.). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. – С. 253-256;

13. Монгуш, Б.С. Проблемы решения интегрированных транспортно-складских задач / Б.С. Монгуш // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: материалы III Международной научно - практической конференции (23-25 октября 2019г.). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2019. - С. 369-373.