

*На правах рукописи*

**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.