

На правах рукописи



Вараница-Городовская Жанна Игоревна

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТРУДОЗАТРАТ В
АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск 2020

Работа выполнена на кафедре информатики и математического моделирования
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Иваньо Ярослав Михайлович,

Официальные оппоненты: **Куцый Николай Николаевич,**
доктор технических наук, профессор,
лаборатория сетевых технологий
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»,
профессор
Деканова Нина Петровна,
доктор технических наук, профессор,
кафедра «Информационные системы и защита
информации» ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет путей сообщения»,
профессор
Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

Защита состоится 12 мая 2020 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета
Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу:
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, д. 24, зал заседаний ученого совета БГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО
«Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина,
11, БГУ, корпус 2, аудитория 101, <http://dissovet.bgu.ru/dissertation/disInfo.aspx?id=74>

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11,
БГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Количественный и качественный состав трудовых ресурсов агропромышленного комплекса региона во многом определяет степень развития аграрного производства и его эффективности. От правильного их использования зависят своевременность выполнения всех работ, степень использования оборудования, машин, механизмов и, как следствие, объём производства продукции.

Моделирование использования трудовых ресурсов и трудозатрат для получения аграрной продукции рассмотрено в работах: Л.Н. Коршуновой, А.Г. Коровкина, В.В. Ухоботова, Ю.И. Гинтер, М.А. Югай и др. При этом многие исследователи на региональном уровне (Я.М. Иваньо, С.В. Каштаева, Ю.И. Копенкин, А.М. Солодовникова и др.) применяли методы математического моделирования для выбора эффективных вариантов управления производством аграрной продукции с учетом и без учета рисков. Между тем в недостаточной степени исследована проблема изменчивости трудозатрат на производство аграрной продукции, прогнозирование и использование трудовых ресурсов для оптимизации деятельности товаропроизводителей различных категорий с разным уровнем технологической и технической оснащённости.

Моделирование изменчивости трудозатрат позволяет прогнозировать будущие ситуации и управлять деятельностью товаропроизводителя. Зависимость затрат труда на производство аграрной продукции от большого числа природных и техногенных факторов предполагает использование методов математического моделирования в условиях неопределённости. Наличие нелинейных связей, недостаточность и неоднородность данных усложняет процесс создания адекватных моделей. В такой ситуации необходимо создание математического, алгоритмического, программного и информационного обеспечения для определения эффективных вариантов управления трудовыми ресурсами и стабильного производства аграрной продукции.

Цель диссертационного исследования заключается в построении математических моделей, численных алгоритмов и разработке программного обеспечения для оптимизации трудозатрат при производстве аграрной продукции, что необходимо для управленческой деятельности товаропроизводителей.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) сбор и систематизация данных годовой отчетности о трудовых ресурсах и трудозатратах для определения особенностей изменчивости многолетних рядов трудовых ресурсов разных по размерам групп аграрных предприятий региона;
- 2) оценка и прогнозирование численности трудоспособного сельского населения региона и муниципальных районов;
- 3) анализ тенденций изменчивости трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции и построение адекватных моделей;
- 4) разработка моделей и численных алгоритмов оптимизации трудозатрат для разных групп товаропроизводителей в условиях неопределённости;
- 5) разработка программного комплекса для моделирования трудозатрат в аграрном производстве региона.

Объект исследования - трудозатраты и их использование в аграрном секторе.

Предмет исследования - математические и информационные технологии описания использования трудозатрат на предприятиях агропромышленного комплекса.

Методы исследования. В работе использованы методы имитационного моделирования, теории вероятностей и математической статистики, прогнозирования и математического программирования.

Новизну исследования составляют следующие **научные положения, выносимые на защиту**:

1. Детерминированные модели параметрического программирования с линейными и нелинейными выражениями коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции для разных по численности работников групп предприятий.

2. Модели параметрического программирования с независимыми и зависимыми коэффициентами при неизвестных целевой функции и левых частях ограничений в условиях неопределенности для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции.

3. Модель оптимизации трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий и алгоритм ее реализации с использованием метода статистических испытаний.

4. Алгоритмическое и информационное обеспечение программного комплекса моделирования трудозатрат для получения аграрной продукции на предприятиях с разной численностью работников.

Информационную базу исследования составляют разработки, основанные на систематизированных данных многолетних рядов численности различных групп предприятий агропромышленного комплекса региона, производственно-экономических и природно-климатических параметрах. В работе использованы многолетние сведения регионального статистического управления, отчетность о финансово-экономическом состоянии товаропроизводителей агропромышленного комплекса в Иркутской области за многолетний период 2006-2017 гг., а также гидрометеорологические данные и нормативно-справочная информация.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенные модели, алгоритмы и программный комплекс применимы для прогнозирования и оптимизации трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции предприятиями (группами предприятий). Разработки реализованы для ООО «Еланское», ООО «Авангард», ЗАО «Иркутские семена» и ЗАО «Железнодорожник» с определением оптимальных планов по трудозатратам на производство. Полученные научные результаты используются в учебном процессе при изучении студентами дисциплин, связанных с математическими и информационными технологиями по направлениям подготовки бакалавров, магистрантов и аспирантов Прикладная информатика, Менеджмент и Экономика.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на региональной научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы и перспективы развития АПК» (ИрГСХА, Иркутск, 2014), III и IV международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство» (ИрГСХА, Иркутск, 2014, 2015), региональной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых «Внедрение инновационных технологий создания конкурентоспособной продукции импортозамещения в сельское хозяйство региона» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2015), международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2015, 2016), VII научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских» «Актуальные вопросы инженерно-технического и биотехнологического обеспечения АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2017), национальной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом»

(Иркутский ГАУ, Иркутск, 2017), региональной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2018), XXIII Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2018), VII международной научно-практической конференции «Информационные технологии, наука и практика в цифровом развитии АПК» - АГРОИНФО-2018 (СибФТИ СФНЦА РАН, Краснообск, 2018), I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2018), Международном научном симпозиуме «Интеллектуальное решение» (УНУ, Ужгород, 2019). Автор получила диплом III степени во II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Сибирского федерального округа Министерства сельского хозяйства России (Иркутск, 2014).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 21 печатной работе, 5 из которых в изданиях их списка, рекомендованного ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 165 наименований. Общий объем работы составляет 169 страниц, которые содержат в себе 20 таблиц, 24 рисунка и 17 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы актуальность темы исследования и степень разработанности проблемы; показана теоретическая и практическая значимость работы; сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования; отмечены основные результаты и элементы научной новизны исследования.

В **первой главе** «Математические и информационные технологии оценки изменчивости трудовых ресурсов в аграрном производстве» рассматриваются теоретические основы технологий оценки и моделирования трудовых ресурсов в сфере производственной деятельности. Проанализирована динамика численности сельского населения, трудоспособного сельского населения и сельского населения старше трудоспособного возраста для региона и муниципальных районов. По критериям адекватности и точности и ретроспективному прогнозу определены модели, позволяющие прогнозировать численность населения различных групп. Выделены гиперболические модели с верхними и нижними оценками и авторегрессионные зависимости. Построена карта движения трудоспособного сельского населения Иркутской области и оценена среднегодовая интенсивность роста/снижения численности трудоспособного сельского населения в муниципальных районах региона. На основе данных о затратах труда на производство основных видов продукции за 2006–2017 гг. для различных групп аграрных предприятий региона оценены статистические параметры рядов трудовых затрат. Построен алгоритм статистической оценки изменчивости трудовых затрат на производство основных видов аграрной продукции по данным четырех групп предприятий: микро, малые, средние и крупные. Рассмотрены модели изменчивости трудовых затрат и модели оптимизации производства аграрной продукции с учетом изменчивости затрат труда. Проанализированы информационные системы моделирования демографических, экологических и производственно-экономических параметров аграрного производства для разработки программного комплекса моделирования трудовых затрат.

Во **второй главе** «Математическое обеспечение оптимизации трудовых затрат аграрными предприятиями региона» предложены модели оптимизации затрат труда на производство

аграрной продукции с использованием задач параметрического программирования с детерминированными и неопределенными параметрами. Задача параметрического программирования с детерминированными параметрами основана на том, что трудозатраты и некоторые производственно-экономические показатели характеризуются значимыми трендами в виде линейных, а также гиперболических и экспоненциальных выражений с верхними и нижними оценками. Модели оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции применимы для малых, средних и крупных предприятий.

В случае, если часть коэффициентов и правых частей ограничений удастся описать с помощью регрессионных зависимостей, а другие показатели являются интервальными или случайными, предложены модели параметрического программирования с неопределенными коэффициентами и правыми частями ограничений. При этом рассмотрены два варианта задач – с независимыми и зависимыми показателями. Предложены алгоритмы получения оптимальных решений с использованием метода статистических испытаний.

Разработана модель оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции с вероятностными величинами, характеризующими аномальные климатические условия вегетационного периода.

В дополнение к этому построены модели, позволяющие оптимизировать трудозатраты на производство аграрной продукции в зависимости от параметров в виде производственно-экономических и климатических факторов.

Третья глава «Программный комплекс моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона» посвящена алгоритмическому обеспечению оптимизации трудозатрат для аграрных предприятий региона и разработке программного комплекса моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона на его основе. Предложены два общих алгоритма реализации моделей оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции в виде задач параметрического программирования с детерминированными и неопределенными коэффициентами при неизвестных целевой функции и ограничений и правых частей. Разработан программный комплекс, позволяющий решать задачи оптимизации трудозатрат для различных групп предприятий и конкретных хозяйств с учетом особенностей изменчивости производственно-экономических и природно-климатических параметров. Методики и модели реализованы на реальных объектах.

В **заключении** выделены основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Детерминированные модели параметрического программирования с линейными и нелинейными выражениями коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции для разных по численности работников групп предприятий.

На основе анализа производственно-экономических параметров для разных групп аграрных предприятий по численности работников, а также отдельных предприятий показано, что некоторые показатели могут быть описаны с помощью регрессионных зависимостей, а другая часть ввиду незначительных колебаний представляет собой усредненные значения. Согласно анализу трудозатрат на производство основной продукции по данным предприятий различных групп (микро, малые, средние, крупные) за 2006-2017 гг. и других производственно-экономических параметров для оптимизации

затрат труда предлагается использовать задачи параметрического программирования с разными параметрами.

В общем виде задача оптимизации трудовых затрат для получения аграрной продукции имеет следующий вид. Критерием оптимальности является минимум затрат труда:

$$\sum_{s \in S} c_s(t)x_s + \sum_{h \in H} c_h(t)x_h \rightarrow \min, \quad (1)$$

где x_s, x_h - искомые переменные объемы производства растениеводческой продукции s и объемы производства животноводческой продукции h ; $c_s(t)$ - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции с учетом изменчивости параметра во времени t (номер года); $c_h(t)$ - затраты труда на единицу животноводческой продукции h , изменяющиеся за время $t[t_n, t_g]$, t_n, t_g - начальное и конечное значение параметра t .

В качестве условий использованы:

- ограниченность производственных ресурсов:

$$\sum_{s \in S} w_{ls}x_s + \sum_{h \in H} w_{lh}x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (2)$$

где w_{ls} и w_{lh} - расходы ресурса l на единицу продукции растениеводства s и животноводства h ; W_l - наличие ресурса вида l ;

- применение в животноводстве побочной продукции растениеводства:

$$\sum_{s_1 \in S_1} p_{js_1}(t)x_{s_1} + \sum_{s_2 \in S_2} p_{js_2}x_{s_2} \geq x_j \quad (j \in J), \quad (3)$$

где $p_{js_1}(t), p_{js_2}$ - выход с единицы площади культуры s_1 и s_2 вида корма j ; x_j - количество кормов вида j , которое используется для скотоводства; s_1 и s_2 - вид культуры, выход продукции которой зависит от параметра t и не связан с ним;

- ограниченность размеров отраслей, в том числе:

растениеводства:

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s)x_s \leq \bar{n}_r \quad (r \in R), \quad (4)$$

где $\bar{n}_r, \underline{n}_r$ - максимально и минимально возможная площадь культур группы r ; α_s - коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры s ;

животноводства:

$$x_h = \lambda_{hh'}x_{h'}, \quad (h, h' \in H), \quad (5)$$

где $\lambda_{hh'}$ - коэффициент пропорциональности между поголовьем животных h и их группами h' ;

- производство конечной продукции не менее заданного объема, в том числе:

растениеводства:

$$\sum_{s_1 \in S_1} v_{qs_1}(t)x_{s_1} + \sum_{s_2 \in S_2} v_{qs_2}x_{s_2} \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (6)$$

где V_q - гарантированный объем производства продукции вида q ; $v_{qs_1}(t), v_{qs_2}$ - выход единицы товарной растениеводческой продукции вида Q для культур s_1 и s_2 ;

животноводства:

$$\sum_{h \in H} v_{q_1h}x_h \geq V_{q_1} \quad (q_1 \in Q_1), \quad (7)$$

где V_{q_1} - гарантированный объем производства продукции вида q_1 ; v_{q_1h} - выход единицы животноводческой продукции вида q_1 ;

- увязка растениеводства с животноводством, в том числе:

балансирование рационов животных по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} a_{is}p_sx_s + \sum_{j \in J} a_{ij}x_j \geq \sum_{h \in H} b_{ih}x_h \quad (i \in I), \quad (8)$$

где a_{is} - содержание элемента питания i в единице кормовой продукции, получаемое от культуры s ; p_s - выход основной кормовой продукции от культуры s ; a_{ij} - содержание элемента i питания в виде корма j или компоненте кормосмеси; x_j - объем производства кормов вида j ; b_{ih} - минимальная потребность в элементе питания i единицы поголовья вида (группы) h ;

по структуре производства кормов:

$$\sum_{h \in H} \underline{d}_{kh} x_h \leq \sum_{s \in S_k} a_{is} p_s x_s + \sum_{j \in J_k} a_{ij} x_j \leq \sum_{h \in H} \bar{d}_{kh} x_h \quad (k \in K), \quad (9)$$

где \underline{d}_{kh} , \bar{d}_{kh} - минимально и максимально допустимый нормативный размер потребности в кормах группы k единицы поголовья вида (группы) животных h , выраженный в кормовых единицах;

- неотрицательность переменных:

$$x_s, x_h \geq 0. \quad (10)$$

В таблице 1 приведены обобщенные эмпирические формулы показателей задач математического программирования. На основе многолетних данных о трудовых затратах за 2006-2017 гг. согласно значимости уравнений регрессии, t -статистик Стьюдента и оценки случайности остатка ряда определены адекватные модели динамики трудовых затрат на производство основных видов аграрной продукции.

Таблица 1 - Модели описания многолетних изменений трудовых затрат и биопродуктивности для различных групп аграрных предприятий по данным Иркутской области

Параметр	Регрессионное уравнение	Группа предприятий
Трудовые затраты на производство единицы продукции (зерновых, кормовых культур, картофеля, мяса и молока) (t – время, a_{max} (a_{min}) – верхняя (нижняя) оценка трудовых затрат, $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ – коэффициенты формулы, $i=1, 2, \dots, k$)	$c_s(t) = a_{max} e^{-a_0 t}$	Малые, средние, крупные
	$c_s(t) = c'_s + c''_s t$	
	$c_s(t) = \frac{a_{min} s}{c'_s + c''_s t}$	
	$c_s(t) = a_1 c_s(t-1) + a_0$	
Годовые суммарные трудовые затраты (t_1, t_2 - факторы, c'_s, c''_s, c'''_s - коэффициенты выражения)	$c_s(t) = c'_s + c''_s t_1 + c'''_s t_2$	Средние, крупные
Урожайность кормовых культур ($p_{s_1}(t-1)$ – предшествующее значение)	$p_{s_1}(t) = p'_{s_1} + p''_{s_1} t$	Средние, крупные
	$p_{s_1}(t) = a_{0s_1} + a_{1s_1} p_{s_1}(t-1)$	
Урожайность товарных культур ($v_{s_1}(t-1)$ – предшествующее значение)	$v_{s_1}(t) = v'_{s_1} + v''_{s_1} t$	Средние, крупные
	$v_{s_1}(t) = a_{0s_1} + a_{1s_1} v_{s_1}(t-1)$	

Наиболее приемлемыми для решения задач параметрического программирования являются гиперболическая и экспоненциальная модели. Между тем, линейная модель может быть использована для нахождения приближенных оптимальных решений. Для оценки урожайности применимы линейные трендовые и автокорреляционные зависимости.

Задачи параметрического программирования в рассмотренном варианте предлагается использовать для малых, средних и крупных предприятий при условии, что трудовые затраты и урожайность можно описывать с помощью значимых регрессионных уравнений.

2. Модели параметрического программирования с независимыми и зависимыми коэффициентами при неизвестных целевой функции и левых частях ограничений в

условиях неопределенности для оптимизации трудовых затрат на производство аграрной продукции.

Часть показателей может быть описана, как в детерминированных моделях параметрического программирования с линейными и нелинейными выражениями коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений, а часть – с помощью законов распределения (таблица 2) или интервальных оценок.

Изменчивость трудовых затрат за многолетний период можно выразить с помощью трендов, авторегрессионных зависимостей и факторных моделей. Когда затраты труда являются величиной случайной, то их изменчивость может быть описана законами распределения вероятностей. При невозможности описания трудовых затрат законом распределения вероятностей этот параметр можно рассматривать как интервальную величину.

Таблица 2 – Законы распределения вероятностей для описания многолетних изменений трудовых затрат, биопродуктивности и климатических показателей для различных групп аграрных предприятий по данным Иркутской области

Параметр	Закон распределения	Плотность распределения
Максимальные суточные осадки; суммарные осадки за июнь в Иркутском районе	Пирсона III типа	$p(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)(x_0 - x_{min})} \left(\frac{x - x_{min}}{x_0 - x_{min}} \right)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_{min})/(x_0-x_{min})}$
Трудовые затраты на выращивание картофеля для ЗАО «Железнодорожник»	Логнормальный	$p(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln x} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln \bar{x})^2}{2\sigma_{\ln x}^2}}$
Трудовые затраты на производство семян, урожайность картофеля и кормовых культур для ЗАО «Иркутские семена»; Трудовые затраты на возделывание кормовых культур для ЗАО «Железнодорожник»; Суммарные осадки за июль в Усольском районе	Гамма	$p(x, \beta, \alpha) = \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)}$
Трудовые затраты на производство зерновых для ЗАО «Иркутские семена»	Трехпараметрическое степенное гамма-распределение	$p(x) = \left[\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)} \right]^{\alpha/\beta} \frac{1}{\Gamma(\alpha) \beta x_0 } \left(\frac{x}{x_0} \right)^{\alpha/\beta - 1} e^{-\left[\frac{x \Gamma(\alpha + \beta)}{x_0 \Gamma(\alpha)} \right]^{1/\beta}}$

Модели, в которых затраты труда представляют собой неопределенные параметры в виде интервальных оценок, а также описываются регрессионными выражениями могут быть записаны следующим образом. Целевая функция (1) преобразуется в выражение:

$$\sum_{s \in S} c_s(t)x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{c}_\varphi x_\varphi + \sum_{h \in H} c_h(t)x_h \rightarrow \min, \quad (11)$$

где \tilde{c}_φ - приведенные затраты труда, изменяющиеся в пределах нижних и верхних оценок $\tilde{c}_\varphi \leq \tilde{c}_\varphi \leq \bar{\tilde{c}}_\varphi$, $t[t_n, t_e]$, t_n , t_e - начальное и конечное значение параметра t .

При этом ограничения (2) и (6) для этой задачи записываются так:

$$\sum_{s \in S} w_{ls}x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{w}_{l\varphi}x_\varphi + \sum_{h \in H} w_{lh}x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (12)$$

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t)x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{v}_{q\varphi}x_\varphi \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (13)$$

где $\tilde{w}_{l\varphi}$ - расход ресурса l на единицу продукции φ -культуры в пределах верхних и нижних оценок $\underline{\tilde{w}}_{l\varphi} \leq \tilde{w}_{l\varphi} \leq \overline{\tilde{w}}_{l\varphi}$; x_φ - объем произведенной продукции вида φ ; $\tilde{v}_{q\varphi}$ - выход товарной продукции вида q с единицы площади культуры φ в пределах $\underline{\tilde{v}}_{q\varphi} \leq \tilde{v}_{q\varphi} \leq \overline{\tilde{v}}_{q\varphi}$.

При реализации такой модели определяются оптимальные решения, среди которых, как правило, выделяют верхние, нижние и медианные значения целевой функции и соответствующие им оптимальные планы. Часть коэффициентов или значений правых частей ограничений определяется с помощью регрессионных уравнений, которые частично снимают неопределенность задачи.

Вторая группа включает в себя модели, в которых коэффициенты при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий характеризуются аналитическими выражениями и вероятностными величинами. Тогда целевая функция (11) может быть записана в следующей редакции:

$$\sum_{s \in S} c_s(t)x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} c_\varphi^p x_\varphi + \sum_{h \in H} c_h(t)x_h \rightarrow \min, \quad (14)$$

где c_φ^p - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции, подчиняющиеся законам распределения вероятностей p . Данная задача оптимизации трудозатрат является параметрической задачей линейного программирования, в которой критерий оптимальности зависит от времени t и вероятности p .

При этом ограничение, касающееся размеров отрасли растениеводства (4), будет выглядеть следующим образом:

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s / v_s^p \leq \overline{n}_r \quad (r \in R), \quad (15)$$

где v_s^p - урожайность сельскохозяйственной культуры с вероятностью p .

Поскольку урожайность может быть случайной величиной, то ограничения (2) и (6) для этой задачи примут вид:

$$\sum_{s \in S} w_{ls} x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} w_{l\varphi}^p x_\varphi + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (16)$$

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t) x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} v_{q\varphi}^p x_\varphi \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (17)$$

где $w_{l\varphi}^p$ - расход ресурса l на единицу продукции φ -культуры; $v_{q\varphi}^p$ - выход товарной продукции вида q с единицы площади культуры φ .

В результате решения подобных задач получают распределение значений целевой функции, связанных с вероятностями и соответствующие им оптимальные планы f^{p*} . При решении подобных задач эффективным методом многократного моделирования является метод Монте-Карло.

Согласно полученным особенностям изменчивости коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, правых частях условий, а также связей между ними имеют место два случая. В первом из них показатели модели являются независимыми, а во втором случае - связаны значимыми регрессионными выражениями.

В частности, в некоторых случаях определены связи между урожайностью сельскохозяйственных культур и трудозатратами на производство аграрной продукции. Эти связи могут быть нелинейными и линейными. Если урожайность сельскохозяйственных культур v_a зависит от затрат труда c_a линейно, тогда

$$v_a = \mu_0 + \mu_1 c_a, \quad (18)$$

где μ_0, μ_1 - коэффициенты уравнения регрессии.

Для моделей с зависимыми и независимыми показателями полученные решения связаны с параметрами модели и вероятностями. В первом случае число параметров, влияющих на решение задачи, уменьшается.

3. Модель оптимизации трудовых затрат в условиях проявления маловероятных климатических событий и алгоритм ее решения с использованием метода статистических испытаний.

Согласно анализу изменчивости трудовых затрат на производство аграрной продукции в рядах показателя выявлены значимые тренды. Однако при проявлении аномального климатического явления устойчивость тенденций резко падает. Поэтому предлагается выделять в отдельную группу модель математического программирования с учетом неблагоприятного экстремального события. Подобная модель примет следующий вид. Критерием оптимальности является минимум затрат труда:

$$\sum_{s \in S} \psi_s^p x_s + \sum_{h \in H} c_h x_h \rightarrow \min, \quad (19)$$

где ψ_s^p - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции в условиях проявления климатического события, соответствующие вероятности p ;

при условиях (2)-(10), некоторые из которых преобразуются:

ограниченность производственных ресурсов (2) примет вид:

$$\sum_{s \in S} \omega_{ls}^p x_s + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (20)$$

где ω_{ls}^p - расход ресурса l на единицу продукции растениеводства в условиях проявления климатического события с вероятностью p ; w_{lh} - расход ресурса l на единицу продукции животноводства h ; W_l - наличие ресурса вида l ;

использование в животноводстве побочной продукции растениеводства (3) запишется как:

$$\sum_{s \in S} \phi_{js}^p x_s \geq x_j \quad (j \in J) \quad (21)$$

где ϕ_{js}^p - выход с единицы площади культуры s вида корма j в условиях проявления климатического события с вероятностью p ; x_j - количество кормов вида j , которое используется для скотоводства;

производство конечной продукции растениеводства (6) примет вид:

$$\sum_{s \in S} \phi_{qs}^p x_s \geq V_q \quad (q \in Q) \quad (22)$$

где V_q - гарантированный объем производства продукции вида q ; ϕ_{qs}^p - выход единицы товарной растениеводческой продукции вида q в условиях проявления климатического события с вероятностью p ;

увязка растениеводства с животноводством, в том числе:

балансирование рационов животных по элементам питания (8) запишется как:

$$\sum_{s \in S} a_{is} u_s x_s + \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq \sum_{h \in H} b_{ih} x_h \quad (i \in I), \quad (23)$$

где a_{is} - содержание элемента питания i в единице кормовой продукции, получаемое от культуры s ; u_s - выход основной кормовой продукции от культуры s ; a_{ij} - содержание элемента i питания в виде корма j или компоненте кормосмеси; x_j - объем производства кормов вида j ; b_{ih} - минимальная потребность в элементе питания i единицы поголовья вида (группы) h ;

по структуре производства кормов (9) примет вид:

$$\sum_{h \in H} \underline{d}_{kh} x_h \leq \sum_{s \in S_k} a_{is} u_s x_s + \sum_{j \in J_k} a_{ij} x_j \leq \sum_{h \in H} \bar{d}_{kh} x_h \quad (k \in K), \quad (24)$$

где \underline{d}_{kh} , \bar{d}_{kh} - минимально и максимально допустимый нормативный размер потребности в кормах группы k единицы поголовья вида (группы) животных h , выраженный в кормовых единицах.

Для решения приведенной задачи использовался следующий алгоритм:

- 1) стохастическая оценка параметров внешних условий (температура воздуха и осадки за вегетационный период) на основе определенных законов распределения вероятностей (нормальный с учетом автокорреляции и Пирсона III типа);
- 2) вероятностная оценка затрат труда на производство основных видов аграрной продукции согласно законам распределения вероятностей (трехпараметрическое степенное гамма-распределение);
- 3) построение моделей оптимизации аграрного производства с показателями, соответствующими экстремальной ситуации;
- 4) нахождение оптимальных решений в зависимости от вероятности проявления события.

На основе метода статистических испытаний с учетом приведенного алгоритма можно моделировать разные неблагоприятные ситуации. Кроме перечисленных операций использованы статистические методы определения связей между показателями. Модель реализована на примере реального аграрного предприятия для оптимизации производства аграрной продукции в условиях сильной засухи с вероятностью 0,0583.

4. Алгоритмическое и информационное обеспечение программного комплекса моделирования трудозатрат для получения аграрной продукции на предприятиях с разной численностью работников.

Предложено информационное, алгоритмическое и математическое обеспечение для программного комплекса оптимизации трудозатрат. Основными компонентами программного комплекса являются: математическое и алгоритмическое обеспечение, база данных, пользовательский интерфейс и программное обеспечение комплекса. Пользовательский интерфейс реализован с помощью интегрированной среды разработки Borland Delphi 7.

База данных содержит сведения о предприятии - размеры, численность персонала, виды производимой продукции и другие. В нее включены климатические и производственно-экономические факторы, влияющие на изменчивость трудозатрат. База данных реализована с использованием СУБД Access.

Математическое обеспечение программного комплекса включает в себя модуль статистической обработки группировки аграрных предприятий по количеству работников, численность которых варьирует в течение многолетнего периода. Выделенные закономерности в изменчивости производственно-экономических характеристик способствуют определению вида экстремальной задачи для моделирования затрат труда на производство растениеводческой и животноводческой продукции.

Предложены следующие алгоритмы получения оптимальных планов трудозатрат на производство аграрной продукции: 1) определение статистических свойств показателей модели; 2) выбор регрессионного выражения для прогнозирования показателей на основе оценки его точности, адекватности и данных ретроспективного прогноза; 3) определение связей между показателями, входящими в модели оптимизации трудозатрат; 4) выбор задачи параметрического программирования; 5) реализация метода статистических испытаний при решении задач параметрического программирования с неопределенными параметрами.

Предложенные алгоритмы реализованы для микрохозяйства ООО «Еланское», малого предприятия - ООО «Авангард», среднего – ЗАО «Иркутские семена» и крупного – ЗАО «Железнодорожник» (таблица 3).

Для микрохозяйства ООО «Еланское» реализована линейная модель с интервальными оценками. Расхождение с фактическими данными составляет 30%. При этом показано, что предприятие может уменьшить затраты труда на производство продукции исходя из

нижней оценки почти на 33%, не теряя объемов производства, даже несколько увеличивая кормопроизводство для развития свиноводства.

Для малого предприятия ООО «Авангард» решена задача параметрического программирования с учетом точечного и интервального прогнозов. Применение задачи параметрического программирования показывает возможность уменьшения трудозатрат на производство продукции на 31,9% по сравнению с фактическими данными. Сравнение с результатами задачи линейного программирования показывает предпочтение оптимального плана, полученного путем решения задачи параметрического программирования. Возможно уменьшение трудозатрат на 14% при неизменяющихся объемах производства за счет тенденции убывания показателя.

Для ЗАО «Иркутские семена» применены комбинированные модели, реализована задача параметрического программирования с вероятностными параметрами. К этому следует добавить второй вариант модели минимизации трудозатрат, в котором учитывается линейная зависимость урожайности зерновых культур от трудозатрат. Предпочтительнее оказалась вторая модель, учитывающая зависимость урожайности зерновых культур от трудозатрат. Интервал разброса полученных значений по второй модели в 1,5 раза меньше, чем в первом случае. При этом потенциальная экономия трудозатрат предприятия составляет до 7,9%. Согласно полученным результатам объемы производства в целом не уменьшаются, хотя в модели с равными вероятностями значений трудозатрат на производство зерновых культур и их урожайность при высоких трудозатратах (при значении функции распределения 0,9) на основе оптимального плана предполагается увеличение производства зернобобовых культур.

Таблица 3 – Результаты моделирования оптимизации трудозатрат с помощью программного комплекса

Задача	Предприятие	Результат, чел.-час.		
		Нижняя и верхняя оценки		Медиана
ЗЛП с интервальными оценками	Микрохозяйство ООО «Еланское»	13 921	19 355	16 512
		Точечный прогноз		Интервальный прогноз
ЗПП с учетом точечного и интервального прогнозов	Малое предприятие ООО «Авангард»	41691		35564 ÷ 48184
		вероятность 0,1	вероятность 0,5	вероятность 0,9
ЗПП 1) с вероятностными параметрами; 2) с вероятностными параметрами и связью урожайности и трудозатрат	Среднее предприятие ЗАО «Иркутские семена»	131 971	140 472	150 116
		134 194	141 868	148 497
		вероятность 0,1	вероятность 0,5	вероятность 0,9
ЗПП с вероятностными параметрами	Крупное предприятие ЗАО «Железнодорожник»	228325	249881	271437

При минимизации затрат труда на крупном предприятии ЗАО «Железнодорожник» использована модель параметрического программирования с вероятностными параметрами. Результатом решения задачи параметрического программирования с вероятностными величинами, характеризующими урожайности кормовых культур и картофеля (вероятности p_1 и p_2) является линейное выражение целевой функции $f=222935+11852p_1+42038p_2$ с соответствующими оптимальными планами. В сложившихся условиях возможно сократить затраты труда на предприятии на 6,9%.

Между тем следует заметить, что малые трудозатраты (невысокая вероятность случайных величин) предполагают поиск резервов для этого показателя относительно производства зерновых и картофеля.

Полученные результаты позволяют оптимизировать трудозатраты на производство аграрной продукции, сокращая их в зависимости от особенностей групп на 7-33%.

Кроме того, решена задача линейного программирования с учетом засухи для ЗАО «Иркутские семена». При вероятности проявления незначительных сумм осадков за вегетационный период, равной 0,103 и сумм высоких температур за теплый период, соответствующих вероятности 0,025, трудозатраты увеличиваются на 18,7% относительно решений для года с усредненными климатическими условиями. Результаты моделирования отражают работу предприятия в условиях сильной засухи, наблюдавшейся в 2015 г.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Разработаны детерминированные модели параметрического программирования с линейными и нелинейными выражениями коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции для разных по численности работников групп предприятий, в которых показатели связаны со временем, предшествующими значениями.

Предложены модели параметрического программирования с независимыми и зависимыми коэффициентами при неизвестных левых частях ограничений в условиях неопределенности, позволяющие минимизировать трудозатраты на производство аграрной продукции для четырех групп предприятий по численности и отдельных предприятий.

Разработана модель оптимизации трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий и алгоритм ее решения с использованием метода статистических испытаний.

Предложены факторные модели прогнозирования годовых трудозатрат на производство аграрной продукции для предприятий разных групп, в которые входят климатические и производственно-экономические параметры.

Получены модели прогнозирования различных групп сельского населения региона и муниципальных районов.

Разработан программный комплекс моделирования использования трудозатрат для получения аграрной продукции на предприятиях с разной численностью работников, с помощью которого реализованы математические модели и численные алгоритмы применительно к предприятиям агропромышленного комплекса региона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК

Минобрнауки РФ

1. Городовская, Ж. И. Моделирование изменчивости сельского населения различных категорий на примере Иркутской области / Ж. И. Городовская, Я. М. Иванько // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 2. – С. 12-16.
2. Городовская, Ж. И. Особенности изменчивости трудоспособного сельского населения в муниципальных районах Иркутской области / Ж. И. Городовская, Я. М. Иванько // Вестник ИрГСХА. – 2015. – Вып. 69. – С. 110-117.
3. Вараница-Городовская, Ж. И. Моделирование изменчивости затрат труда на сельскохозяйственных предприятиях различного уровня агрегирования на примере

Иркутской области / Ж. И. Вараница-Городовская, Я. М. Иванько // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, № 5. – С. 834-839.

4. Вараница-Городовская, Ж. И. Факторные модели изменчивости трудовых затрат в аграрном производстве / Ж. И. Вараница-Городовская // Вестник ИрГСХА. – 2017. – Вып. 81, ч. 2. – С. 7-15.

5. Вараница-Городовская, Ж. И. Модели оптимизации затрат труда на производство аграрной продукции с учетом нелинейных функций с экстремальными оценками / Ж. И. Вараница-Городовская, Я. М. Иванько // Вестник БГУ. Математика, информатика. – 2017. – Вып. 3. – С. 21-31.

В других изданиях

6. Городовская, Ж. И. О трудовых ресурсах сельского хозяйства Иркутской области / Ж. И. Городовская, Я. М. Иванько // Современные проблемы и перспективы развития АПК: материалы регион. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 80-летию ФГБОУ ВПО ИрГСХА, (25-27 февр. 2014 г.) : в 2 ч. – Иркутск, 2014. – Ч. 1. – С. 10-14.

7. Городовская, Ж. И. Модели оптимизации сочетания отраслей аграрного производства с учетом изменчивости трудовых ресурсов / Ж. И. Городовская, Я. М. Иванько, С. А. Петрова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию образования ИрГСХА (27-29 мая 2014 г.). – Иркутск, 2014. – Ч. 2. – С. 23-29.

8. Городовская, Ж. И. Динамика численности сельского населения муниципальных районов региона / Ж. И. Городовская // Внедрение инновационных технологий создания конкурентоспособной продукции импортозамещения в сельское хозяйство региона: материалы регион. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых, посвящ. Дню российской науки, Дню аспиранта и 100-летию со дня рождения А. А. Ежевского (12 февраля 2015 г.). – Иркутск, 2015. – С. 104-111.

9. Городовская, Ж. И. Анализ распределения трудоспособного сельского населения по муниципальным районам на примере Иркутской области / Ж. И. Городовская // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 70-летию победы в Великой Отечеств. войне и 100-летию со дня рождения А. А. Ежевского (15-16 апр. 2015 г.). – Иркутск, 2015. – С. 34-39.

10. Городовская, Ж. И. Анализ обеспеченности территорий трудовыми и земельными ресурсами на примере муниципальных районов Иркутской области / Ж. И. Городовская // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского, (27-29 мая 2015 г.) : в 2 ч.– Иркутск, 2015. – Ч. 2. – С. 112-119.

11. Вараница-Городовская, Ж. И. Тенденции многолетней изменчивости затрат труда на сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области [Электронный ресурс] / Ж. И. Вараница-Городовская // Актуальные вопросы аграрной науки: электрон. науч.-практ. журн. – 2015. – Вып. 16, нояб. – С. 64-69.

12. Вараница-Городовская, Ж. И. Моделирование аграрного производства на предприятиях различного уровня агрегирования с учетом особенностей затрат труда [Электронный ресурс] / Ж. И. Вараница-Городовская, С. А. Петрова; науч. рук. Я. М. Иванько. – Электрон. текстовые дан. // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: материалы регион. науч.-практ. конф. молодых учёных, (14 апр. 2016 г.). – Иркутск, 2016. – С. 69-76.

13. Вараница-Городовская Ж. И. Изменчивость трудовых ресурсов и агротехнологий на примере средних предприятий Иркутского района [Электронный ресурс] / Ж. И.

- Вараница-Городовская, С. А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки: электрон. науч.-практ. журн. – 2017. – Вып. 23, июнь. – С. 52-61.
14. Вараница-Городовская, Ж. И. Задача параметрического программирования со случайными величинами применительно к оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции / Ж. И. Вараница-Городовская, Я. М. Иваньо // *Mongolian Journal of Agricultural Sciences*. – 2017. – Vol. 21, No 02. – P. 109-114.
15. Вараница-Городовская Ж.И. Оптимизация получения продовольственной продукции в условиях неблагоприятных климатических событий /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, Ж.И. Вараница-Городовская // Міжнародний науковий сімпозіум «Інтелектуальні рішення». Теорія прийняття рішень: праці міжнар.школи-семінару, 15-20 квітня 2019р., Ужгород /М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», та [ін.]; наук. ред. Л.Ф. Гуляцький. – С. 85-86.
16. Вараница-Городовская, Ж. И. Оптимизация трудозатрат для производства аграрной продукции на крупных предприятиях / Ж. И. Вараница-Городовская // Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом : материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных и студентов, (7-8 дек. 2017 г.) . – Иркутск, 2017. – С. 19-26.
17. Разработка модуля построения трендов с экстремальными оценками для параметров аграрного производства / Ж. И. Вараница-Городовская [и др.] // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: материалы регион. науч.-практ. конф., 29 марта 2018 г. – Иркутск, 2018. – С. 84-92.
18. Информационные системы планирования производства продовольственной продукции/ Т.С. Бузина, Е.С. Тулунова, Е.А. Ковалева, Ж.И. Вараница-Городовская // Информационные технологии, системы и приборы в АПК - АГРОИНФО-2018: материалы 7-й Междунар.науч.-практ.конф.–Новосибирск-Краснообск,2018. – С. 90-94.
19. Иваньо Я.М. Об адаптивности экстремальных задач к оптимизации получения продовольственной продукции /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, Ж.И. Городовская-Вараница //Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: материалы 6 междунар. конф.(Кишинэу, 16 нояб. 2018 г.). – Кишинэу, 2018. – С. 330-337.
20. Асалханов П.Г. Результативность визуального анализа в задачах принятия решений / П.Г. Асалханов, Ж.И. Вараница-Городовская, Я.М. Иваньо // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – № 3 (11). – С. 156-164.
21. Вараница-Городовская Ж.И. Статистическая оценка трудозатрат на производство аграрной продукции в условиях проявления маловероятных событий / Ж.И. Вараница-Городовская, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти Александра Александровича Ежевского, (15-16 нояб. 2018 г.). – Иркутск, 2018. – С. 110-118.

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать _____. Объем 1 печ. л. Тираж ____ экз.

Издательство ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского»

664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный