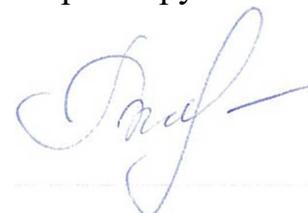


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»
(ФГБОУ ВО «Иркутский ГАУ»)

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.тех.н., профессор
Я.М. Иваньо

Иркутск 2020

Оглавление

Введение	3
1 Математические и информационные технологии оценки изменчивости трудовых ресурсов в аграрном производстве	11
1.1 Моделирование изменчивости трудовых ресурсов.....	11
1.2 Трудозатраты и модели их изменчивости в группах предприятий по численности работников.....	34
1.4 Информационные системы моделирования демографических, экологических и производственно-экономических параметров аграрного производства	52
2 Математическое обеспечение оптимизации трудозатрат аграрными предприятиями региона.....	59
2.1 Детерминированная модель параметрического программирования обеспечения трудозатратами аграрных предприятий региона	59
2.2 Модель параметрического программирования оптимизации трудозатрат с интервальными и случайными параметрами	77
2.3 Оптимизация трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий.....	82
2.3.1 Стохастическая модель оптимизации трудозатрат с учетом неблагоприятных климатических условий.....	82
2.3.2 Статистическая оценка трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий	87
2.4 Модели параметрического программирования с факторными зависимостями.....	92
3 Программный комплекс моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона.....	102
3.1 Алгоритмы решения задач оптимизации трудозатрат для аграрных предприятий региона в условиях неопределенности	102
3.2 Программный комплекс моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона	106
3.3 Решение задач оптимизации трудозатрат с помощью программного комплекса.	117
Заключение	127
Список литературы	129
Приложение А	149
Приложение Б.....	151
Приложение В	153
Приложение Г.....	154
Приложение Д.....	155
Приложение Е	156
Приложение Ж	158
Приложение З.....	160
Приложение И.....	161
Приложение К	162
Приложение Л.....	163
Приложение М	164
Приложение Н.....	165
Приложение О	166
Приложение П.....	167
Приложение Р.....	168
Приложение С	169

Введение

Актуальность темы исследования. Современное состояние аграрной сферы характеризуется тем, что в производстве наблюдается абсолютное и относительное сокращение трудовых ресурсов [63], что связано с развитием технологий и стремлением руководителей предприятий оптимизировать кадровый состав [8].

Количественный и качественный состав трудовых ресурсов сельской местности региона во многом определяет степень развития аграрного производства и его эффективности. В условиях сокращения сельского населения, его старения, стремительного развития новых технологий, сезонности выполнения работ необходимо решать задачу по оптимизации участия товаропроизводителей в производственных процессах по обеспечению населения продовольствием. При этом нужно учитывать не только производителей аграрной продукции, но и заготовителей лесных продовольственных ресурсов.

Изучение изменчивости кадрового состава имеет теоретическое и практическое значение для определения потребности в работниках аграрного производства, прогнозировании и планировании производственных процессов [95]. Особо актуальным является задача определения закономерностей изменчивости трудовых ресурсов, оценка динамики структуры кадрового состава, поскольку на многих предприятиях осуществляется модернизация производства [125].

Трудовые ресурсы представляют собой важный фактор, рациональное использование которого обеспечивает повышение уровня производства продукции и его экономической эффективности. От правильного их использования зависят объём и своевременность выполнения всех работ, уровень использования механизмов, оборудования и машин, и, следовательно, объём производства продукции. Из этого следует, что влияние трудовых ресурсов на производство продовольственной продукции значительно [39].

Оптимизация трудозатрат зависит от многих факторов, к которым относятся технологические и природно-экономические. Другими словами предприятие должно стремиться к минимизации трудозатрат с учетом их влияния на производство аграрной продукции.

В литературе [7, 18, 21, 24, 27, 32, 54, 67, 72, 79-83, 87-92, 118, 127 и др.] использованы различные модели оптимизации производства аграрной продукции, использования земельных ресурсов, кормопроизводства в условиях неопределенности. При этом следует иметь в виду, что производство аграрной продукции осуществляется различными категориями предприятий, отличающимися друг от друга размерами. Кроме того, одни из них работают более устойчиво, другие – менее устойчиво, поэтому необходима оценка изменчивости трудозатрат для повышения эффективности управления аграрным производством.

Для эффективного планирования производства часто используют математические модели, среди которых особое место занимают модели математического программирования, с помощью которых из множества вариантов решений выбирается наилучший [34].

Степень разработанности темы исследования. В работах различных авторов [13, 15, 21, 25, 30, 31, 33, 42, 53, 69, 75, 83, 102, 109, 112, 121, 154, 160, 161 и др.] нашли применение различного рода модели: трендовые, вероятностные, авторегрессионные, факторные, оптимизационные, применяемые для оценки изменчивости различных параметров, влияющих на аграрное производство. К ним относятся трудовые ресурсы, от закономерности изменчивости которых во многом зависит эффективное выполнение работ.

Данные об использовании трудовых ресурсов, в т.ч. в сельской местности отражены в работах таких ученых, как: Р. Ю. Асхабов, Н. Г. Туркина, А.В. Белокопытов, Левченко В.А., Покрамович О.В., Семенихина А.Н., Ухоботов В.В. и др. [19, 20, 52, 65, 70, 73, 100, 126, 138, 139, 158].

Модели оценки изменчивости трудовых ресурсов, по сути, определяют вид задач оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции для определения их структуры.

С точки зрения особенности информации трудовые ресурсы могут являться постоянной, вероятностной величиной, изменяться во времени или зависеть от факторов.

Используя особенности изменчивости трудовых ресурсов на предприятиях с разной численностью и уровнем производства, можно получить качественные модели оптимизации трудозатрат на получение аграрной продукции в условиях неопределенности для эффективного управления.

Цель 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 установленной цели решались следующие **задачи исследования**:

- 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;
- оценка и прогнозирование численности трудоспособного сельского населения региона и муниципальных районов;
- анализ тенденций изменчивости труда на производство основных видов аграрной продукции и построение адекватных моделей;
- разработка моделей и численных алгоритмов оптимизации трудозатрат для разных групп товаропроизводителей в условиях неопределенности;
- разработка программного комплекса для моделирования трудозатрат в аграрном производстве региона.

Объект исследования – трудозатраты и их использование в аграрном секторе региона.

Предмет исследования – математические и информационные технологии описания использования трудовых затрат на предприятиях агропромышленного комплекса региона.

Методы исследования, использованные в работе: методы имитационного моделирования, математической статистики, прогнозирования, теории вероятностей и математического программирования.

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, годовая отчетность о финансово-экономическом состоянии предприятий АПК в Иркутской области за многолетний период 2006–2017 гг., а так же гидрометеорологические данные и нормативно-справочная информация.

Научная новизна исследования заключается в выделении 4 основных научных положений:

1. Детерминированные модели параметрического программирования с линейными и нелинейными выражениями коэффициентов при неизвестных целевой функции и ограничений для оптимизации трудовых затрат 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 трудовых затрат на производство аграрной продукции.

3. Модель оптимизации затрат труда в условиях проявления маловероятных климатических событий и алгоритм ее реализации с применением метода статистических испытаний.

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

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 в рамках выделенных групп предприятий. Разработки реализованы для «Еланское» (ООО); «Авангард» (ООО); «Иркутские семена» (ЗАО) и «Железнодорожник» (ЗАО) с определением оптимальных планов по трудозатратам на производство. Полученные научные результаты применяются в учебном процессе при изучении студентами дисциплин, связанных с математическими и информационными технологиями при подготовке аспирантов, магистрантов и бакалавров по направлениям «Прикладная информатика», «Менеджмент» и «Экономика».

Апробация работы: основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались: региональная научно-практическая конференция с международным участием «Современные проблемы и перспективы развития АПК» (ИрГСХА, Иркутск, 2014); III-я, IV-я международная научно-практическая конференция «Климат, экология, сельское хозяйство» (ИрГСХА, Иркутск, 2014, 2015); региональная научно-практическая конференция аспирантов и молодых ученых «Внедрение инновационных технологий создания конкурентоспособной продукции импортозамещения в сельское хозяйство региона» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2015); международная научно-практическая конференция молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2015, 2016); национальная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2017); VII-я научно-практическая конференция с международным участием «Чтения И.П. Терских» «Актуальные вопросы инженерно-технического и биотехнологического обеспечения АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2017); региональная научно-практическая конференция молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2018); VII-я международная научно-практическая конференция «Информационные технологии, наука и практика в цифровом развитии АПК» – АГРОИНФО-2018

(СибФТИ СФНЦА РАН, Краснообск, 2018); I-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» (Иркутский ГАУ, Иркутск, 2018); XXIII-я Байкальская Всероссийская конференция с международным участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2018); Международный научный симпозиум «Интеллектуальное решение» (УНУ, Ужгород, 2019).

Автор получила диплом III-й степени во II-м 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 исследования опубликованы в 21 печатной работе, 5 из которых в изданиях из списка, рекомендованного ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (из 165 наименований) и приложений. Общий объем исследования составляет 169 страниц, которые включают в себя 20 таблиц, 24 рисунка и 17 приложений.

Во **введении** обоснованы актуальность выбора темы исследования и степень изученности проблемы; показаны теоретическая и практическая значимость исследования; сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования; выделены основные результаты работы 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, сельского населения трудоспособного возраста 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 трудовых затратах на производство аграрной продукции различными группами предприятий региона за 2006–2017 гг. оценены статистические параметры рядов затрат труда. Предложены алгоритмы статистической оценки изменчивости затрат труда на производство аграрной продукции по данным выделенных групп предприятий: микро, малые, средние и крупные. Рассмотрены модели изменчивости трудовых затрат и модели оптимизации производства аграрной продукции с учетом изменчивости трудовых затрат. 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 трудовых затрат на производство аграрной продукции с использованием задач параметрического программирования с детерминированными и неопределенными параметрами. Задача параметрического программирования с детерминированными параметрами основана на том, что трудовые затраты и некоторые производственно-экономические показатели характеризуются значимыми трендами в виде линейных, а также гиперболических и экспоненциальных выражений с верхними и нижними оценками. Модели оптимизации трудовых затрат 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 и конкретных предприятий 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.

1 Математические и информационные технологии оценки изменчивости трудовых ресурсов в аграрном производстве

1.1 Моделирование изменчивости трудовых ресурсов

Понятие «трудовые ресурсы» характеризует трудоспособное население в различных масштабах: всей страны либо региона, отдельной отрасли экономики, либо в рамках какой-либо профессиональной группы.

Существуют различные интерпретации понятия «трудовые ресурсы», но при обобщении множества понятий можно получить универсальное понятие: трудовые ресурсы – часть населения, обладающая физическим развитием, интеллектуальными (умственными) способностями, квалификацией и знаниями, необходимыми для трудовой деятельности [157].

Трудовые ресурсы в аграрном производстве – это часть трудоспособного населения страны, занятого в аграрном производстве, соответственно, они размещены, в основном в сельской местности и им свойственны особенности сельского населения, его динамики и структуры [70].

В соответствии с трудовым законодательством Российской Федерации установлена нижняя граница трудоспособного возраста – 16 лет; верхняя – 55 лет для женщин и 60 лет для мужчин определена правом на получение пенсии [1, 3]. При этом следует отметить, что 1 января 2017 года в силу вступил ФЗ–143, согласно которому пенсионный возраст повышается.

Аналізу трудовых ресурсов, изучению их движения, распределения, вопросам воспроизводства и повышения эффективности использования трудовых ресурсов посвящены работы [19, 20, 56, 65, 70, 73, 100, 126, 138, 139, 158 и др.].

Достаточная обеспеченность аграрных предприятий трудовыми ресурсами, их рациональное использование, высокий уровень производительности труда имеют большое значение для увеличения объёмов производства продукции и повышения эффективности деятельности предприятий [151]. В частности, от

уровня эффективности использования и обеспеченности предприятий трудовыми ресурсами зависит результативность использования оборудования, машин, механизмов; объемы и своевременность выполнения работ, и, как результат – объем и себестоимость производства, прибыль от реализации аграрной продукции и ряд других экономических показателей [55].

Исходя из значения трудовых ресурсов для производства продовольственной продукции, одной из задач исследования является определение закономерностей изменчивости затрат труда применительно к решению задач оптимизации для эффективного планирования аграрного производства [47].

Изменчивость затрат труда является одним из главных факторов, влияющих на эффективность работы аграрных предприятий – трудозатраты в современных условиях должны иметь устойчивые тенденции на снижение, что позволит предприятиям аграрной сферы планировать производство и работать результативнее.

Согласно [4, 134] Иркутская область должна обеспечивать себя продуктами питания. Для этого необходимо повышать эффективность аграрного производства при снижении трудозатрат.

Аграрное производство характеризуется «развитием производительных сил, научно-техническим прогрессом, за счет чего сокращается численность работников, занятых непосредственно производством продукции» [63].

Решение социальных, экономических и производственных вопросов в значительной степени определяется обеспеченностью предприятия трудовыми ресурсами и эффективностью их использования [63, 71].

Эффективность использования трудовых ресурсов характеризует результативность работы и выражается в достижении наибольшего эффекта при минимальных трудозатратах; измеряется как отношение результата к затратам труда во всех сферах деятельности – как в производственной, так и в непроизводственной [70].

Количественную основу и естественную базу формирования трудовых ресурсов составляют демографические процессы воспроизводства населения [97].

Обеспеченность аграрных предприятий трудовыми ресурсами зависит от динамики и особенностей естественного движения населения. Показатели рождаемости и смертности также имеют весомое значение в оценке демографических изменений. Кроме того, существенное влияние на величину трудовых ресурсов оказывают миграционные процессы, ведущие к их перераспределению населения между территориями, отраслями народного хозяйства и видами деятельности.

Трудовые ресурсы зависят от многих факторов и изменяются во времени и по территории. Для определения изменчивости трудовых ресурсов региона необходим анализ динамики численности различных групп населения и оценка рождаемости, смертности и миграции.

В работах [10, 11, 14, 26, 36, 99, 102, 103, 117, 132, 137, 147, 162, 164 и др.] проведены исследования численности различных групп населения России, отдельных ее регионов и других стран мира.

При моделировании рядов, характеризующих оценку динамики численности различных групп населения, применялись тренды (линейные и нелинейные), авторегрессионные зависимости (первого, второго и третьего порядка, авторегрессия с учетом времени) и модели с оценками (приложения А, Б).

К сожалению, средняя продолжительность жизни в России в значительной степени уступает аналогичному показателю многих развитых стран. По этому значению страна занимает 116 место в мире.

В Иркутской области средняя продолжительность жизни по данным 2017 г. составила 69 лет: женщин – 75, мужчин – 63 года. При этом продолжительность жизни городских жителей совпадает с продолжительностью жизни в целом по региону. В сельской местности этот показатель несколько ниже – средняя продолжительность жизни (оба пола) составляет 67 лет; женщин – 73, мужчин – 62 года. Следует отметить, что в период 2005-2017 гг. продолжительность жизни сельского населения региона увеличилась на 14,2 % [62, 113, 150].

Динамика численности населения в мире за период 1990–2017 гг. имеет положительную тенденцию – население планеты увеличилось более чем на 2 млрд. человек (с 5264 до 7577 млн. человек) или на 43,9 %.

Население России за анализируемый период напротив незначительно сократилось – на 0,5 % (с 147,7 млн. человек до 146,9 млн. человек).

Что касается Иркутской области, то за период 1990–2017 гг. динамика численности населения имеет отрицательную направленность (снижение составило 13,9 %, в т.ч. городского населения – 15,5 %, сельского – 7,2 %). Годовые темпы снижения показателя в целом по области – 4,7 тыс. человек, в том числе убыль городского населения – 6,3 тыс. человек, прирост сельского – 1,6 тыс. человек. В Иркутской области соотношение городского и сельского населения составляет 79 % к 21 %. Данный показатель почти не изменяется. Численность трудоспособного населения области за анализируемый период снизилась на 17,8 %, в т.ч. городского – на 20,5 %, сельского – на 5,1 %. Население старше трудоспособного возраста региона, напротив, увеличивается – 42,4 % по региону, в т.ч. в городской местности – на 45,2 % и на селе – на 32,2 % [62, 150]. Численность сельского населения региона на конец 2017 г. соответствует 510 142 человека (данные Росстата), что составляет 21,2 % от общего количества жителей Иркутской области [62].

Имеют место различные методы оценки изменчивости численности населения: трендовые, авторегрессионные, смешанные модели и др. [9–11, 99, 102 и др.]. В ряде случаев для определения динамики населения могут быть применены модели изменчивости численности популяций животных [69, 82, 109, 110, 121, 135, 146 и др.]. Актуальным же остается применение моделирования для оценки численности населения и компонентов его изменчивости.

В соответствии с линейным трендом за период с 1990 до 2017 гг. численность населения Иркутской области в сельской местности снижается более чем на 2,7 тыс. человек ежегодно [64].

Недостатком линейного тренда является уход значений численности населения в отрицательную область при устремлении времени в бесконечность.

Учитывая политику государства по сохранению и увеличению населения страны [1, 3, 4] можно допустить наличие некоторой нижней оценки падения численности. На рисунке 1.1 приведено количество сельского населения региона по данным за 1993–2017 гг. Исходная информация приведена в приложении В. Максимальная оценка численности населения соответствует реальному значению (начальная точка – значение 1993 г. ($t=0$)), а минимальная – определена исходя из свойств эмпирического ряда согласно регрессионному анализу.

Аналитическое выражение тренда имеет следующий вид:

$$y = \frac{430}{0,716 + 0,044 \ln(t + 1)}. \quad (1.1)$$

Выражение для оценки изменчивости сельского населения с верхними и нижними оценками (1.1) ориентировано на начальное значение численности жителей, соответствующее 580 тыс. человек. При этом коэффициент детерминации тренда равен $R^2=0,87$.

Недостатком является то, что данная модель не учитывает переломные точки, и справедлива для ситуаций с замедлением падения (роста). Она ориентирована на некоторые нижние (верхние) предельные значения.

Поскольку в 2012 г. произошел переход от уменьшения численности сельского населения региона к его увеличению, параболическая зависимость является более точной (в частности, и по коэффициенту детерминации $R^2=0,96$). Приведенная зависимость неадекватно отображает перелом тенденции. В этом случае можно использовать совокупность линейных зависимостей – тенденцию падения численности сельского населения характеризует линейный тренд $y=578,610-4,412t$ ($R^2=0,99$) и тенденцию роста – другая $y=490,930+3,405t$ ($R^2=0,92$). В конкретном случае недостатком такого алгоритма моделирования численности сельского населения является уменьшение данных, характеризующих тенденции падения и роста. В частности при прогнозировании с помощью линейного тренда роста численности ряд данных соответствует шести значениям.

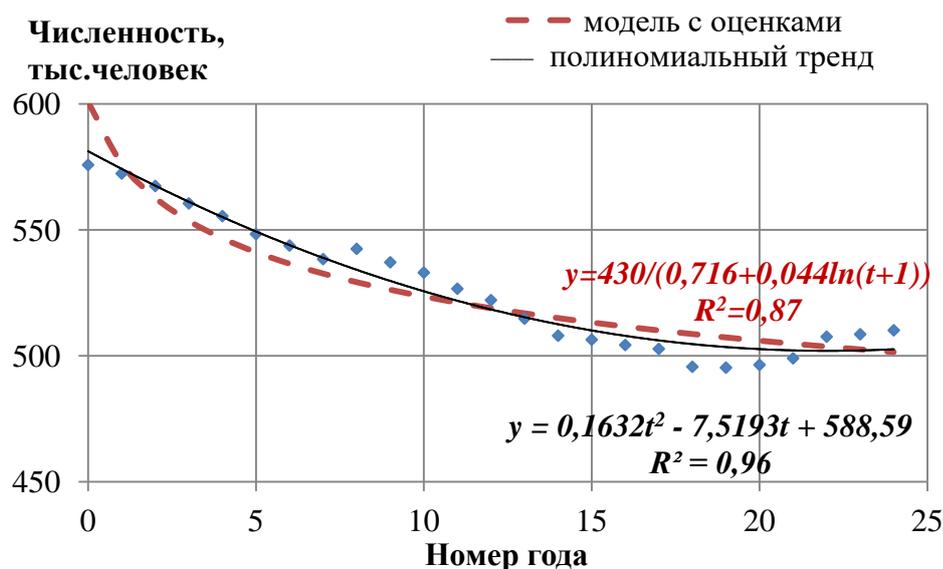


Рисунок 1.1 – Нелинейная модель изменчивости численности сельского населения с верхними и нижними оценками по данным Иркутской области за 1993–2017 гг.

Второй проблемой использования совокупности линейных зависимостей при описании численности сельского населения является сложность предсказания переломной точки. Хотя для прогнозирования с упреждением 1–2 года это обстоятельство не имеет особого значения. В этом случае, согласно тренду роста прогнозное значение численности сельского населения составило в 2017 году 512,690 тыс. чел. Согласно ретроспективному прогнозу разность между фактическими данными и данными ретроспективного прогноза составила 0,5 %.

К этому стоит добавить, что приведенная статистическая информация численности сельского населения не вполне однородна. В частности, в 2014 г. на территории региона произошли административно-территориальные преобразования (АТП): Ангарский район с входящими в него городскими и сельскими поселениями преобразован в городской округ, р.п. Мегет – в п. Мегет и вошел в состав Ангарского городского МО; Ольхонский район – р.п. Хужир преобразован в п. Хужир (Хужирское городское поселение стало Хужирским сельским поселением); Слюдянский район – р.п. Байкал (порт) преобразован в п. Байкал (Портбайкальское городское поселение стало Портбайкальским сельским поселением) [113].

Показатель рождаемости 2017 г. составил в сельской местности региона 15,0 на тыс. жителей. За период наблюдения прослеживается отрицательная динамика данного показателя – снижение составило 23,9 % (с 19,7 до 15,0). В 2017 г. этот показатель оказался ниже на 6,3 % по сравнению с предыдущим годом [62].

«Общий же показатель смертности в сельской местности Иркутской области в 2017 г. равен 13,2 человек на 1000 жителей. За 1990–2017 гг. уровень смертности в сельской местности региона вырос на 16,8 % (с 11,3 до 13,2). За последние пять лет снижение смертности составило 8,3 % – с 14,4 до 13,2 человек на тыс. жителей» [62].

Естественный прирост на селе наблюдается с 2007 г., в 2017г. он составил 899 человек (1,8 человек на тыс. жителей) [33].

На рисунке 1.2 показана динамика численности родившихся и умерших в сельской местности.

Зависимости описываются при помощи полиномиальной функции, обладающей более высокой точностью по сравнению с другими функциями. При этом точность, оцениваемая коэффициентом детерминации, для числа умерших выше, чем для числа родившихся.

Согласно рисунку 1.2 рост функции родившихся сменился падением, а интенсивность снижения числа умерших замедляется. Параметр t (порядковый номер года) изменяется от 1 до h .

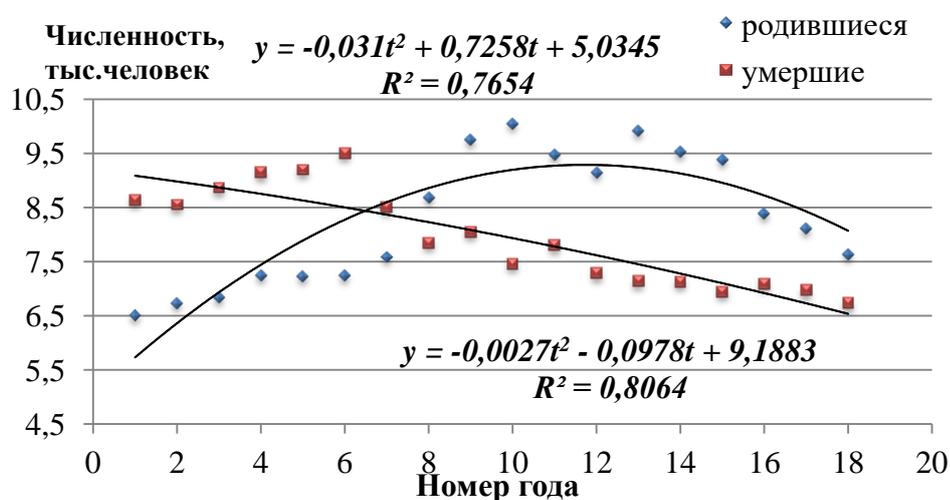


Рисунок 1.2 – Динамика численности родившихся и умерших в сельской местности Иркутской области за 2000–2017 гг.

Причинами смертности в сельской местности региона в 2017 г. стали: болезни системы кровообращения (46,0 %); несчастные случаи, травмы и отравления, включая отравления алкоголем, транспортные травмы, убийства и самоубийства (14,5 %); новообразования (15,4 %); инфекционные и паразитарные болезни (4,5 %); болезни органов дыхания (3,5 %); болезни органов пищеварения (3,8 %), прочие причины (12,3 %) [62].

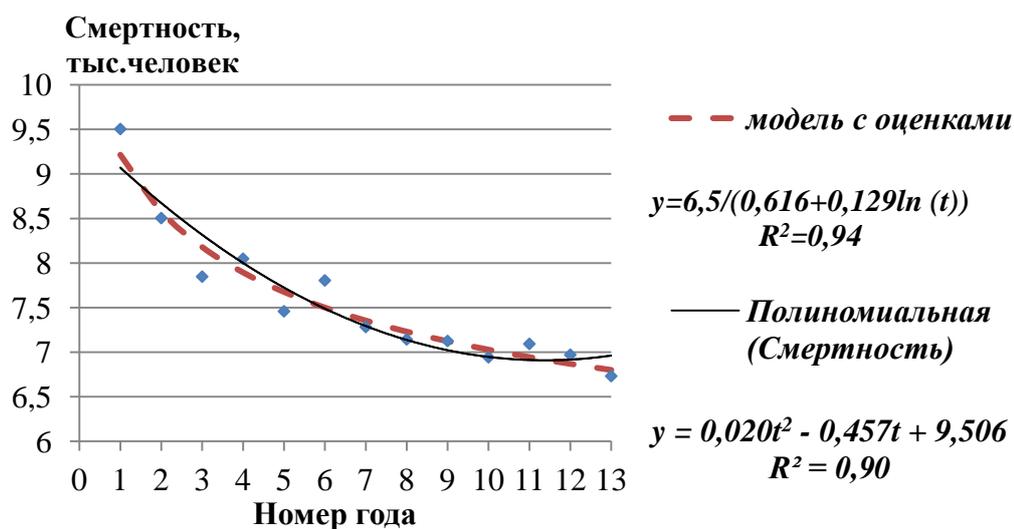


Рисунок 1.3 – Динамика смертности в сельской местности региона за 2005–2017 гг.

Младенческая смертность в 2017 г. в сельской местности региона составила 7 случаев на тыс. живых новорожденных. Показатель по России соответствует 5,5, что на 21,4 % ниже, чем в Иркутской области. В последние годы в регионе наблюдается тенденция к снижению уровня данного показателя. Рост рождаемости и снижение смертности обусловили увеличение естественного прироста сельского населения области с – 3,9 до 1,8 на 1000 жителей за период 2000–2017 гг. [62, 150].

Общие итоги миграции населения Иркутской области имеют отрицательную тенденцию (приложение Г). За приведенный период число прибывших увеличилось на 65,9 %, в том числе в сельской местности – на 63,1 %. Число выбывших за анализируемый период также увеличилось в целом по региону на 60,0 %, в том числе в сельской местности – на 58,4 %. Общим итогом миграции за анализируемый период является увеличение убыли населения из

региона на 13,9 %, при этом в сельской местности миграционный прирост за приведенный период значительно увеличился (с 88 до 672 человек). Естественный прирост населения сельской местности наблюдается в 2004, 2005, 2007 и 2017 гг.

Число мигрантов, прибывающих на село за 2004–2017 гг., увеличилось в 1,63 раза, в то время как число выбывающих – в 1,58 раза [62, 113].

Анализ динамики численности различных групп населения Иркутской области показывает, что темпы старения населения возрастают, а численность населения, составляющего трудовые ресурсы, падает.

Оценены тенденции изменчивости численности населения анализируемых групп (приложение А) и показателей естественного движения населения (приложение Б) по трендовым и авторегрессионным моделям, а также моделям с верхними и нижними оценками.

Тенденции по сельскому населению приведены в таблицах 1.1 и 1.2. На предварительном этапе исследования выбраны модели, коэффициент детерминации которых превышает значение 0,5. В авторегрессионных уравнениях, приведенных в таблицах $y_{i-\tau}$ – предшествующее значение со сдвигом τ .

Анализ регрессионных выражений (таблицы 1.1 и 1.2) позволяет отметить, что авторегрессионные модели и трендовые модели, учитывающие верхние и нижние оценки, точнее отражают изменения показателей по коэффициенту детерминации.

Следующим шагом исследования приведенных моделей является их оценка на адекватность [153], а также анализ значений F -критерия Фишера и t -статистик Стьюдента и их значимости для каждого уравнения.

Таблица 1.1– Модели динамики изменения численности сельского населения Иркутской области, тыс. человек

Модель	Уравнение	R^2
Численность сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,1632t^2 - 7,5193t + 588,590$	0,96
Авторегрессия	$y_i = 19,305 + 0,961y_{i-1}$	0,92
	$y_i = 24,556 + 1,159y_{i-1} - 0,208y_{i-2}$	0,93
	$y_i = 28,951 + 1,141y_{i-1} - 0,115y_{i-2} - 0,083y_{i-3}$	0,93
	$y_i = 125,505 + 0,779y_{i-1} - 0,642t$	0,93

Продолжение таблицы 1.1

Модель с оценками	$y=430/(0,716+0,044\ln(t+1))$	0,87
Численность сельского трудоспособного населения Иркутской области		
Тренд	$y = -0,185t^2 + 4,882t + 276,790$	0,80
Авторегрессия	$y_i = 1,240 + 0,994y_{i-1}$	0,87
	$y_i = 18,468 + 1,372y_{i-1} - 0,435y_{i-2}$	0,89
	$y_i = 5,101 + 1,277y_{i-1} - 0,057y_{i-2} - 0,240y_{i-3}$	0,96
	$y_i = 20,117 + 0,948y_{i-1} - 0,348t$	0,91
Модель с оценками	$y=270/(0,760+0,084\ln(t+1))$	0,91
Численность сельского населения региона старше трудоспособного возраста		
Авторегрессия	$y_i = -6,218 + 1,077y_{i-1}$	0,91
	$y_i = 5,248 + 1,803y_{i-1} - 0,858y_{i-2}$	0,96
	$y_i = 6,442 + 1,520y_{i-1} - 0,267y_{i-2} - 0,322y_{i-3}$	0,98
	$y_i = -6,129 + 1,060y_{i-1} + 0,101t$	0,92

Тенденции, имеющие место для населения региона, в целом повторяются при описании изменений численности сельского населения. Как было показано на основе авторегрессионных моделей, наблюдается стабилизация или замедление падения демографического параметра, характеризующего количество жителей сельских поселений, а в некоторых случаях – рост.

«Для изменения сложившейся ситуации в аграрной сфере региона необходимы крупные государственные инвестиции в социальную среду и инфраструктуру сельских поселений, а также поддержка аграрных предприятий и создание новых рабочих мест на селе, развитие инфраструктуры села и повышение уровня жизни сельского населения» [63].

Таблица 1.2 – Модели динамики изменения показателей естественного движения сельского населения, тыс. человек

Модель	Уравнение	R ²
Численность выбывшего сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,679t + 9,268$	0,62
	$y = -0,001t^2 + 0,6934t + 9,2297$	0,62
Авторегрессия	$y_i = 7,177 + 0,185y_{i-1} + 0,602t$	0,62
Численность прибывшего сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,6138t + 8,2779$	0,59
	$y = 0,0731t^2 - 0,4823t + 11,201$	0,69
	$y_i = 1,692 + 0,909y_{i-1}$	0,63
	$y_i = 2,913 + 1,113y_{i-1} - 0,309y_{i-2}$	0,66
	$y_i = 2,759 + 1,126y_{i-1} - 0,442y_{i-2} + 0,152y_{i-3}$	0,67
	$y_i = 3,064 + 0,525y_{i-1} + 0,426t$	0,75

Продолжение таблицы 1.2

Рождаемость в сельской местности Иркутской области		
Авторегрессия	$y_i=1,252+0,834y_{i-1}$	0,81
	$y_i=1,325+1,324y_{i-1}-0,493y_{i-2}$	0,85
	$y_i=1,284+1,214y_{i-1}-0,195y_{i-2}-0,179y_{i-3}$	0,86
	$y_i=1,159+0,800y_{i-1}+0,024t$	0,84
Смертность в сельской местности Иркутской области		
Тренд	$y = -0,0119t^2 + 0,3195t + 6,561$	0,65
Авторегрессия	$y_i=1,616+0,799y_{i-1}$	0,69
	$y_i=2,139+1,016y_{i-1}-0,282y_{i-2}$	0,67
	$y_i=1,943+0,994y_{i-1}-0,065y_{i-2}-0,173y_{i-3}$	0,69
	$y_i=2,403+0,756y_{i-1}-0,029t$	0,76
Модель с оценками	$y=6,5(0,616+0,129\ln(t+1))$	0,94

Следует обратить внимание на «неравномерность сельских поселений по территории, значительное расхождение численности жителей в разных муниципальных образованиях, что влияет на наличие трудовые ресурсы и их эффективное использование в аграрном производстве. При этом техническое перевооружение и новые технологии требуют высококвалифицированных специалистов. В дополнение отметим большое значение особенностей изменчивости трудовых ресурсов при оптимизации производства аграрной продукции. Этот параметр может обладать различными свойствами в зависимости от уровня развития предприятия, природно-климатических условий, специализации, объемов производимой продукции и др.» [63].

«Динамика численности трудоспособного сельского населения Иркутской области имеет тенденцию к снижению. Увеличение численности трудоспособного сельского населения за период 2010–2017 гг. наблюдается всего в нескольких муниципальных районах области – Ангарском (229,8 %), Иркутском (25,5 %), Шелеховском (25,2 %), Ольхонском (4,2 %), Усольском (0,1 %)» [64]. Следует обратить внимание на то, что значительный скачок численности трудоспособного сельского населения Ангарского района связан с административно-территориальными преобразованиями – Ангарский район с входящими в него городскими и сельскими поселениями преобразован в городской округ (р.п. Мегет – в п. Мегет и вошел в состав Ангарского городского муниципального образования). Остальные административные единицы теряют свое

трудоспособное население. Потери за анализируемый период по районам (%) составляют: Слюдянский – 1,1; Заларинский – 12,7; Усть-Ордынский Бурятский округ – 13,2(в т.ч. Аларский – 16,5; Баяндаевский – 19,9; Боханский – 11,9; Нукутский – 10,9; Осинский – 5,8; Эхирит-Булагатский – 15,4); Зиминский – 13,5; Качугский – 15,7; Нижнеудинский – 17,4; Черемховский – 17,7; Тулунский – 18,2; Балаганский – 18,7; Тайшетский – 19,6; Катангский – 21,9; Усть-Удинский – 22,1; Куйтунский – 23,0; Казачинско-Ленский – 23,1; Братский – 25,0; Чунский – 25,1; Усть-Кутский – 25,6; Жигаловский – 28,1; Нижнеилимский – 30,5; Бодайбинский – 30,9; Киренский – 34,2; Усть-Илимский – 36,1; Мамско-Чуйский – 42,3 [64, 112].

Отрицательную динамику можно объяснить снижением уровня рождаемости в 1990-х годах. На отрицательной динамике сказывается и миграция населения, которая в сельской местности в 2017 г. впервые с 2007 года сменилась с убыли на прирост и составила 642 человека, при этом выбывших оказалось 17978 человек, а прибывших 18650 [33].

Исходя из анализа движения трудоспособного сельского населения, можно выделить следующие 2 типа районов с выделением трендов: 1) районы с увеличивающейся численностью; 2) районы, теряющие население (рисунок 1.4).

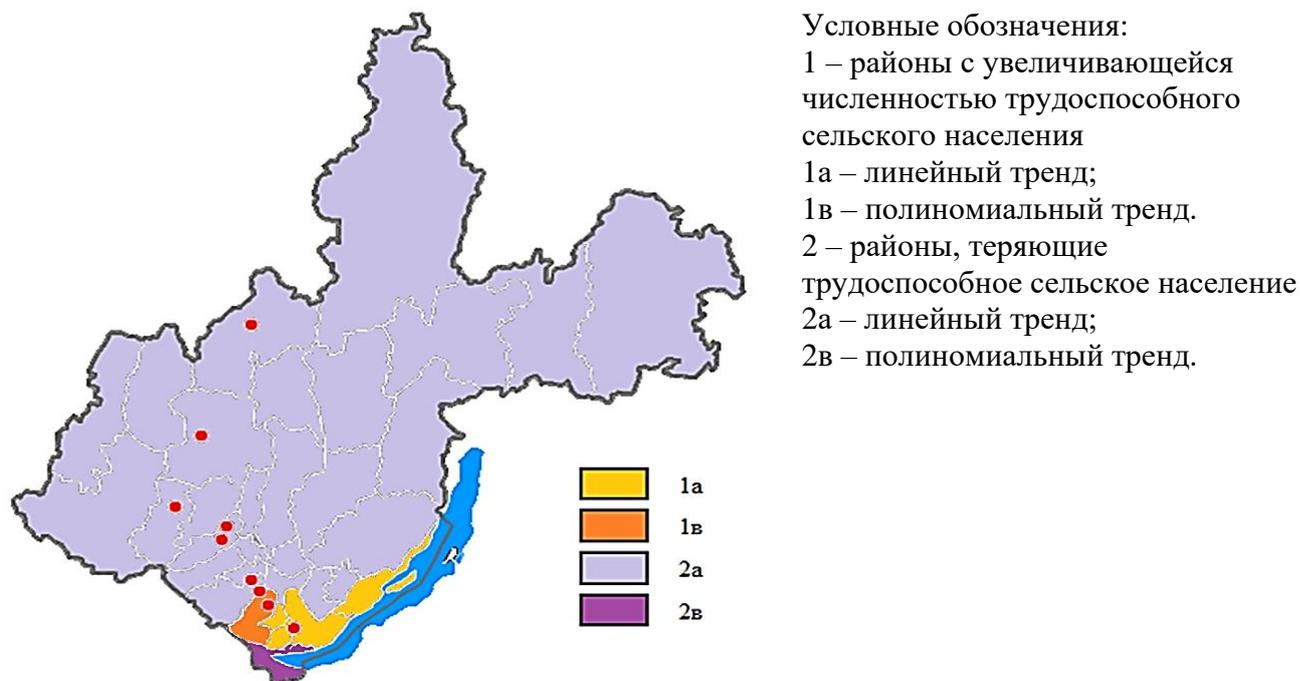


Рисунок 1.4 – Карта движения трудоспособного сельского населения Иркутской области за 2010–2017 гг.

Для районов, теряющих население, тенденции снижения численности в 27 случаях описываются линейным трендом и в 1 – полиномом (Слюдянский район). В районах, с увеличивающейся численностью населения схожая картина – из 5 районов в 4 (Ангарский, Иркутский, Ольхонский и Шелеховский районы) динамика роста параметра описывается при помощи линейного тренда, а в 1 (Усольский район) – при помощи полинома. Использование полиномиального тренда объясняется тем, что интенсивность роста/падения численности за последний год намного выше, чем в предыдущие годы. В приложении Д приведены выражения, характеризующие тенденции изменчивости численности трудоспособного сельского населения районов [64].

При этом как «интенсивность роста, так и тенденции падения численности трудоспособного сельского населения по муниципальным районам в среднем за анализируемый период может быть разделена на 6 групп – (0–100), (101–200), (201–300), (301–400), (401–500) и (501 и более)» [64]. В таблице 1.3 приведены данные по интенсивности увеличения численности трудоспособного сельского населения муниципальных районов, а в таблице 1.4 – интенсивность снижения аналогичного показателя.

Таблица 1.3 – Среднегодовая интенсивность роста численности трудоспособного сельского населения в муниципальных районах Иркутской области за 2010–2017 гг.

Интенсивность роста численности трудоспособного сельского населения, человек	Среднегодовое увеличение численности, человек	Район
0–100	1	Усольский
	30	Ольхонский
201–300	201	Шелеховский
501 и более	603	Ангарский
	1615	Иркутский

Наиболее высокая среднегодовая интенсивность роста численности трудоспособного сельского населения наблюдается в Иркутском районе (1615), а самая низкая – в Усольском районе –1 человек (таблица 1.3).

Согласно таблице 1.4 наиболее высокая среднегодовая интенсивность снижения численности трудоспособного сельского населения наблюдается в Эхирит-Булагатском, Тулунском и Братском районах, ежегодно теряющих 405, 426 и 720 жителей соответственно.

Таблица 1.4 – Среднегодовая интенсивность снижения численности трудоспособного сельского населения в муниципальных районах Иркутской области за 2010–2017 гг.

Интенсивность снижения численности трудоспособного сельского населения, человек	Среднегодовое уменьшение численности, человек	Район
0–100	-4	Слюдянский
	-13	Мамско-Чуйский
	-44	Бодайбинский
	-69	Катангский
	-82	Балаганский
	-95	Жигаловский
	-100	Осинский
101–200	-122	Казачинско-Ленский
	-126	Усть-Кутский
	-128	Качугский
	-143	Нукутский
	-149	Заларинский
	-152	Киренский
	-152	Зиминский
	-168	Усть-Удинский
	-192	Баяндаевский
201–300	-219	Чунский
	-241	Нижнеилимский
	-254	Боханский
	-285	Нижнеудинский
	-300	Аларский
301–400	-328	Черемховский
	-347	Тайшетский
	-363	Усть-Илимский
401–500	-403	Куйтунский
	-405	Эхирит-Булагатский
	-426	Тулунский
501 и более	-720	Братский

Незначительное «снижение численности трудоспособного сельского населения наблюдается в Слюдянском и Мамско-Чуйском районах (4 и 13 человек соответственно).

Наиболее благоприятными для проживания и осуществления трудовой деятельности является часть области, примыкающая к Восточно-Сибирской железной дороге, Московскому тракту. Привлекательна притрактовая часть территории Иркутск–Качуг.

В основном рост трудоспособного сельского населения наблюдается в Иркутском, Ангарском и Шелеховском районах, где лучше инфраструктура и выше производительность труда» [64].

В заключении отметим, что проведен анализ динамики численности различных групп населения Иркутской области и компонентов, влияющих на ее изменения. За многолетний период наблюдения численность в выделенных группах изменяется различными темпами. «Наблюдается снижение численности населения региона и, в частности, трудоспособного населения. Численность населения старше трудоспособного возраста, напротив, увеличивается. Данная тенденция отмечается как в целом по региону, так и в сельской местности и несет отрицательные последствия для экономики региона» [62]. Тенденции можно описать с помощью трендовых и авторегрессионных уравнений и моделей, учитывающих верхние и нижние оценки. Ряды численности различных групп населения обладают значимыми трендами и автокорреляционными связями. Коррелограмма может быть описана убывающими функциями. Как правило, значимыми являются первые три коэффициента автокорреляции.

Помимо моделирования изменчивости численности различных групп населения определены тенденции изменчивости трудоспособного сельского населения муниципальных районов и выделены 2 типа районов – с увеличивающейся и уменьшающейся численностью рассматриваемого показателя. Про этом в 31 случае применимы линейные зависимости, а в двух – полиномиальные.

Прогнозы служат источником информации о тех явлениях и процессах, которые в силу слабой управляемости (стихийной природы) не поддаются или частично поддаются воздействию и вследствие этого не являются непосредственным объектом управления. Между тем эти процессы оказывают существенное влияние на ход экономических событий, и потому без их учета невозможно выработать обоснованные управленческие решения. В частности, к таким слабоуправляемым или неуправляемым факторам относятся интересующие нас демографические (включая миграционные) факторы.

Наиболее часто используются прогнозы, основанные на трендовых и факторных моделях, которые базируются на том, что тенденции и факторы прошлого сохраняются в будущем. Другими словами, в этих методах используется экстраполяция данных. Данные методы отличаются простотой, наглядностью и легко реализуются на ЭВМ.

Трендовые модели эффективно используются при решении различных задач [128, 148, 155 и др.]. Такие модели описывают изменения показателя во времени. При построении трендовых моделей могут использоваться линейные и нелинейные кривые роста. В качестве линейной зависимости используют выражения прямой. Часто нелинейными функциями являются полином, степенные, показательные и логарифмические выражения роста. Перечисленные функции имеют недостаток, который состоит в том, что при возрастании времени в бесконечность $t \rightarrow \infty$, значение функции увеличивается без ограничения, $y \rightarrow \infty$ [122]. При наличии верхних или нижних оценок изменчивости значений некоторого параметра могут быть использованы кривые роста с насыщением. В таблице 1.5 приведены наиболее часто используемые выражения трендов для описания производственно-экономических и ресурсных параметров.

При прогнозировании используют точечные и интервальные оценки. Точечный прогноз – единственное значение прогнозируемого показателя. В интервальном прогнозе учитывается вероятный диапазон изменчивости прогностической величины [122].

При рассмотрении будущих ситуаций для проверки модели имеет смысл использовать ретроспективный прогноз. В этом случае из n значений ряда делят на две последовательности, которые имеют длину n_1 и n_2 . По первой последовательности n_1 осуществляется точечный и интервальный прогноз, значения которого сравниваются с фактическими данными второго ряда длиной n_2 . Очевидно, чем ближе прогностические величины к фактическим данным, тем качественнее прогноз.

Таблица 1.5 – Модели прогнозирования производственно-экономических и демографических показателей

№ п/п	Модель прогнозирования	Функция
1	Полином	$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_k t^k$
2	Экспонента	$y = a_{max} e^{-a_0 t}$
3	Гипербола	$y = \frac{a_{min}}{a_0 + a_1 t}, y_0 = y_{max}; t_0 = 0$
4	Авторегрессионная модель	$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_m y_{t-m}$
5	Авторегрессионная модель с учетом времени	$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_m y_{t-m} + \alpha t$
6	Балансовая модель	$y = y_0 + y_p - y_c + y_n - y_v$
7	Модель с оценками	$y = \frac{a_{min}}{a_0 + a_1 \ln(t+1)}, y_0 = y_{max}; t_0 = 0$
8	Модель асимптотического роста (с верхней оценкой)	$y = A - (A - y_0) e^{-k(t-t_0)}$

Примечание: a_0 – свободный член, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ – коэффициенты формулы, $i = 1, 2, \dots, k$, t – время.

Обратим внимание на некоторые недостатки прогнозирования с помощью трендовых моделей. Во-первых, хронологическая последовательность может содержать в себе неоднородные данные или несколько трендов. Во-вторых, тренд описывает инерционные процессы (те условия, которые были, не изменятся). И, наконец, они не определяют природу колебаний прогнозируемой характеристики. Тем не менее, тренды позволяют относительно несложно определять будущие ситуации. Следует отметить ограничение периода упреждения или заблаговременности прогноза k . Обычно эта величина не должна превышать третью часть длины последовательности, т.е. $n/3$.

Чаще всего авторегрессионные модели используются для прогнозирования тех производственно-экономических параметров, для которых практически невозможно выделить стабильные во времени причинно-следственные связи, либо внешний механизм их формирования четко не определен (таблица 1.5). Применение таких моделей рационально для сильно автокоррелированных динамических рядов.

Для повышения свойств прогнозирования в модель можно ввести фактор времени в виде самостоятельной переменной. В ряде случаев данный подход в существенно увеличивает точность прогноза, что объясняется учетом линейного тренда [34].

В авторегрессионных (АР) моделях текущее значение процесса представляется в виде линейной комбинации предыдущих его значений и случайной компоненты [6, 21 и др.].

Идентификация АР модели заключается в определении ее порядка. Одной из предпосылок построения таких моделей является применение их к стационарному процессу. Другими словами, идентификация модели включает также выбор способа трансформации исходного ряда наблюдений, который, как правило, имеет некоторую тенденцию, в стационарный (или близкий к нему) ряд. Одним из наиболее распространенных способов решения этой проблемы является последовательное взятие разностей, т.е. переход от исходного ряда к ряду первых, а затем и вторых разностей.

Авторегрессионные модели хорошо описывают колебания, что весьма важно для отображения развития неустойчивых показателей. Однако они не предназначены для описания процессов с тенденцией. Параметры этих моделей вычисляются методом наименьших квадратов с учетом сложности модели [150].

В модели авторегрессии следующее (прогнозируемое) значение зависит от предыдущего, поэтому прогнозные значения будут более приближены к фактическим данным.

Для прогнозирования также могут быть использованы модели многомерной авторегрессии. Суть их в том, что они являются обобщением моделей

авторегрессии. Прогноз по ним строится с учетом матрица признаков, столбцами которой являются временные ряды со сдвигом на 1 [6].

Фурье-анализ может выступать одним из методов прогнозирования. Его используют для отображения волнообразных процессов, наблюдающихся в колебаниях экономических параметров Аналитическая кривая, полученная этим методом, имеет вид периодической функции, состоящей из суммы гармоник. При этом недостатком данного метода является то, что требуется большое число данных, которое зачастую не позволяет дать полную характеристику последовательности [149].

Выбор моделей прогнозирования (таблица 1.5) базируется на оценке их качества.

Качество моделей прогнозирования определяется на основе исследования свойств остаточной компоненты ε , т. е. величины расхождений на участке аппроксимации (построения модели) между фактическими уровнями и их расчетными значениями независимо от метода оценки их параметров. Для оценки точности модели оценивались значения коэффициента детерминации R^2 .

Кроме того, для определения значимости регрессионных выражений использован F-критерий Фишера, а для оценки значимости коэффициентов – t -статистики Стьюдента.

F -критерий Фишера рассчитывается как:

$$F_{\phi} = \frac{R^2(n-m)}{(1-R^2)(m-1)}, \quad (1.2)$$

где n – число наблюдений; m – число параметров уравнения регрессии; R – коэффициент корреляции.

Значение t -статистики Стьюдента рассчитывается по формуле:

$$t_{\alpha \text{ расч}} = R \sqrt{\frac{n-k-1}{1-R^2}}, \quad (1.3)$$

где k – число факторов в модели.

Адекватность модели может быть подтверждена анализом случайности остатка ряда (разность между эмпирическими и аналитическими значениями $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$) является величиной случайной. Для выполнения данного требования выполнялись следующие условия: колебания значений остатка ряда случайны; остаток ряда соответствует нормальному закону распределения; среднее значение последовательности ε_i равняется нулю; значения остатка ряда независимы.

Проверку случайности колебаний значений можно определить с помощью критерия серий или критерия пиков.

Согласно критерию серий ряд из величин ε_i располагают в порядке возрастания, находят медиану ε_m и определяют разность $\varepsilon_i - \varepsilon_m$. Получают непрерывные серии положительных и отрицательных разностей.

Протяженность самой длинной серии обозначается через K_{\max} , а общее число серий – через ν . Выборку признают случайной, если выполняются следующие неравенства для уровня значимости 0,05:

$$K_{\max} < [3,3(\lg n + 1)], \quad (1.4)$$

$$\nu > \left[\frac{1}{2}n + 1 - 1,96\sqrt{n-1} \right]. \quad (1.5)$$

По критерию пиков уровень последовательности ε_i считается максимумом (минимумом), если он больше (меньше) двух рядом стоящих уровней. В этом случае точка ε_i считается поворотной (пик). Общее число поворотных точек для остаточной последовательности ε_i обозначим как Π .

Математическое ожидание числа точек поворота и дисперсия в случайной выборке находятся по формулам:

$$\Pi' = \frac{2}{3}(n-2), \quad (1.6)$$

$$\sigma_{\Pi}^2 = \frac{16n-29}{90}. \quad (1.7)$$

Критерием случайности является выполнение неравенства:

$$\Pi > \left[\Pi' - 1,96\sqrt{\sigma_{\Pi}^2} \right], \quad (1.8)$$

где P – фактическое количество поворотных точек в случайном ряду; 1,96 – квантиль нормального распределения при уровне значимости 0,05. Квадратные скобки здесь так же означают, что от результата вычисления следует взять целую часть.

Если неравенство выполняется, то остаток ряда считается случайным.

При проверке соответствия остатка ряда нормальному закону распределения учитывается свойство вероятностного распределения – коэффициент асимметрии c_s должен быть близок к нулю или незначимым. Средняя квадратическая погрешность коэффициента асимметрии вычисляется по формуле:

$$\sigma_{c_s} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}, \quad (1.9)$$

где n – длина ряда.

Если выполняется неравенство $|c_s| \leq 1,5\sigma_{c_s}$, то гипотеза о соответствии значений остатка нормальному распределению принимается.

Второй способ определения соответствия остатка закону распределения Гаусса – RS -критерий, который RS -критерий характеризует отношение размаха вариаций к стандартному отклонению R/S :

$$R = \varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}, \quad (1.10)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}}. \quad (1.11)$$

Значение R/S сравнивается с его табличными границами (таблица 1.6). Гипотеза о нормальности распределения принимается, если значение попадает в интервал между критическими границами.

Для проверки среднего значения остаточной последовательности ε_i на соответствие нулю, определяется среднее арифметическое ряда остатка и его средняя квадратическая погрешность $\left(\sigma_{\bar{\varepsilon}} = \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\sqrt{n}}\right)$. Если их соотношение меньше

табличного значения $\left(\frac{\bar{\varepsilon}}{\sigma_{\varepsilon}} \leq t_{\alpha}\right)$, тогда принимается утверждение о соответствии

ряда остатка нулю. Табличное значение критерия Стьюдента t_α зависит от уровня значимости α и числа степеней свободы $n-1$.

Таблица 1.6 – Критические уровни RS-критерия

Число наблюдений	Граница RS-критерия	
	Нижняя	Верхняя
10	2,67	3,69
15	2,96	4,14
20	3,18	4,49
25	3,34	4,71
30	3,47	4,89

Отсутствие внутрирядных связей между значениями остаточной последовательности ε_i является последним требованием адекватности модели. Для проверки выполнения данного требования определяется первый коэффициент автокорреляции исследуемого ряда (1.12) и его средняя квадратическая погрешность (1.13). При коэффициенте автокорреляции близком к нулю и преобладании средней квадратической погрешности над ним принимается, что значения ряда остатка независимы.

$$R_\tau = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x}_i) \cdot (x_{i+\tau} - \bar{x}_{i+\tau})}{\sigma_i \sigma_{i+\tau} (n - \tau - 1)}, \quad (1.12)$$

где n – объем выборки; τ - порядок сдвига, изменяющийся от 0 до m ($\tau = 0, 1, 2, \dots, m$); x_i – значения ряда от x_1 до $x_{n-\tau}$; \bar{x}_i и σ_i – среднее значение и стандарт для части выборки от 1 до $n - \tau$; $x_{i+\tau}$ – значения ряда от $x_{1+\tau}$ до x_n ; $\bar{x}_{i+\tau}$ и $\sigma_{i+\tau}$ – среднее значение и стандарт для выборки размером от $1 + \tau$ до n .

$$\sigma_{R_\tau} = \frac{1 - R_\tau^2}{\sqrt{n - \tau - 1}}. \quad (1.13)$$

Большое значение для подтверждения качества моделей прогнозирования имеет оценка ретроспективных прогнозов. Точность прогнозов зависит от особенностей рассматриваемого параметра. Например, удовлетворительным можно считать прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на уровне

15–20 %, что связано с сильным влиянием на этот параметр гидрометеорологических условий. Более высокая точность прогнозирования имеет место для численности населения, которая в большей степени связана с биологическими и демографическими факторами.

В данной работе для оценки модели при прогнозировании параметра трудозатрат и других использованы перечисленные методы определения качества модели и возможности прогнозирования.

Из моделей, приведенных в таблицах 1.1 и 1.2 на основе адекватности и точности с учетом ретроспективного прогноза получены модели прогнозирования с упреждением 1 год:

Таблица 1.7 – Модели динамики изменения сельского населения и результаты прогнозирования с заблаговременностью 1 год, тыс. человек

Уравнение	R ²	Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г.
		F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
<i>Население сельское</i>					
$y=430/(0,716+0,044\ln(t+1))$	0,87	$9,77 \cdot 10^{-12}$	$5,84 \cdot 10^{-30}$ $9,77 \cdot 10^{-12}$	1,87	500,45±17,25
<i>Выбывшее сельское население</i>					
$y = 0,679t + 9,268$	0,62	$8,59 \cdot 10^{-4}$	$8,59 \cdot 10^{-4}$ $1,32 \cdot 10^{-5}$	5,95	19,45±1,66
<i>Рождаемость в сельской местности</i>					
$y_i=1,325+1,324y_{i-1}-0,493y_{i-2}$	0,85	$3,37 \cdot 10^{-10}$	0,05 $1,55 \cdot 10^{-7}$ $6,46 \cdot 10^{-3}$	4,14	7,43±0,99
<i>Смертность в сельской местности</i>					
$y=6,5/(0,616+0,129\ln(t+1))$	0,94	$5,00 \cdot 10^{-8}$	$4,99 \cdot 10^{-12}$ $5,00 \cdot 10^{-8}$	1,24	6,74±0,53
$y_i=2,403+0,756y_{i-1}-0,029t$	0,76	$3,53 \cdot 10^{-8}$	$7,55 \cdot 10^{-3}$ $5,41 \cdot 10^{-8}$ 0,01	2,07	6,64±0,96

Помимо уравнений из таблице 1.7 можно для прогнозирования с небольшой точностью использовать модели численности трудоспособного сельского населения $y=270/(0,760+0,084\ln(t+1))$ ($R^2=0,91$) и сельского населения старше трудоспособного возраста $y_i=-6,129+1,060y_{i-1}+0,101t$ ($R^2=0,92$), но недостатком их

является то, что они не соответствуют требованиям значимости коэффициентов уравнений, случайности колебаний и независимости значений остатка ряда. Все модели, пригодные для прогнозирования и результаты проверки их качества, значимости и данные ретроспективного прогноза приведены в приложении Е.

Что касается численности прибывшего сельского населения, то модели являются адекватными, но большинство коэффициентов в уравнениях не удовлетворяют требованиям значимости.

По данным таблицы 1.7 качественными моделями для прогнозирования являются модели прогнозирования численности сельского населения региона, числа выбывших сельских жителей, а также рождаемости и смертности в сельской местности Иркутской области.

Таким образом, несмотря на то, что точность трендовых моделей зачастую выше, чем моделей авторегрессии, более точные результаты можно получить при прогнозировании по авторегрессионной модели, так как она более чувствительна к изменениям динамики ряда и прогнозные значения, полученные на её основе будут более близкими к фактическим. Трендовая же модель не чувствительна к единичным изменениям значений и, исходя из этого, менее точно отражает динамику.

1.2 Трудозатраты и модели их изменчивости в группах предприятий по численности работников

С демографическими показателями, характеризующими сельское население региона, связаны трудозатраты на производство аграрной продукции.

Трудозатраты представляют собой трудоемкость производства продукции определенного вида в человеко-часах. «Оценка тенденций изменчивости трудозатрат на производство аграрной продукции необходима для повышения эффективности планирования работ на предприятиях аграрной сферы и

определения перспектив их дальнейшего развития, т.е. имеет научно-практическое значение» [47].

«Основным показателем, который характеризует производительность труда на аграрных предприятиях является трудоемкость производства отдельных видов продукции, то есть затраты труда в человеко-часах на единицу производимой продукции» [47].

В аграрном производстве рассматривают прямые и косвенные затраты труда на производство продукции. В работе проанализированы прямые затраты труда [51].

В настоящее время в большинстве предприятий трудозатраты рассчитываются по продолжительности проведения операций или с помощью норм затрат труда на выполнение работ.

Трудозатраты в аграрном производстве характеризуются высокой долей в их общем количестве затрат труда на выполнение транспортных и погрузочно-разгрузочных работ: в растениеводстве они составляют до 35 % и около 17 % – в животноводстве. Ручной труд все чаще заменяет современная высокопроизводительная техника.

Из отчетности аграрных предприятий можно получить данные о валовом производстве и затратах труда по отдельным видам продукции. По этим данным можно определить какое количество трудозатрат затрачено на производство единицы продукции (чел.-час-/ц, чел.-час./тыс.шт. (яиц) и др.).

Таким образом, на основе нормативных данных или с помощью определения продолжительности работ по получению аграрной продукции оценивается количество произведенной продукции и количество труда (чел.-час.), затраченного на производство того или иного вида продукции. Отношение между затратами труда и валовой продукцией представляют собой затраты труда на производство единицы объема продукции (чел.-час-/ц, чел.-час./тыс.шт (яиц) и др.).

На трудозатраты большое влияние оказывают новые технологии. Развитие агротехнологий и производства на предприятиях осуществляется за счет внедрения современной техники и расширения технической оснащенности

предприятия [43]. Агротехнологии влияют на изменчивость трудовых ресурсов, главным образом, повышая производительность труда работников предприятия.

Что касается «развития новых технологий, то в этом отношении на передовых позициях находятся крупные предприятия Усольского, Зиминского и Иркутского районов. Развитие новых технологий здесь связано с внедрением новых сортов сельскохозяйственных культур, семеноводством, развитием адаптированных сортов кормовых культур» [47] и современной высокопроизводительной техники [43,46,61].

В работах [43, 47, 51] показана динамика трудозатрат за 2006–2017 гг. Однако, в некоторые годы наблюдается проявление экстремальных климатических явлений и резкое увеличение этого показателя за счет компенсации потерь. Так, в 2015 году пострадали многие районы региона. В частности, в Иркутском и Усольском районах трудозатраты на производство зерновых составили 1,0-1,3 чел-час./ц при средних за многолетний период 0,5-0,8 чел-час./ц.

Тем не менее, имеет место тенденция снижения трудозатрат на производство аграрной продукции [43, 45, 47–51], что особенно заметно по интенсивности для малых и средних предприятий.

Для оценки изменчивости трудозатрат проведены следующие исследования и систематизация данных.

«Во–первых, собраны данные о трудозатратах на производство основных видов продукции за 2006–2017 гг. для различных групп предприятий (микропредприятия, малые, средние и крупные предприятия)» [47]. Согласно Федеральному закону «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24 июля 2007 г. № 209–ФЗ к микро предприятиям относятся предприятия, имеющие до 15 работников, малыми являются предприятия, в которых работает 16–100 человек, средние имеют в штате 101–250 сотрудников и на крупных предприятиях работает свыше 250 человек [2].

За указанный период количество аграрных предприятий в Иркутской области сократилось более чем на четверть — со 181 до 160. Из их общего числа в

каждом году было проанализировано около 45 % предприятий. На различных по уровню агрегирования и технической оснащенности предприятиях производятся разные виды аграрной продукции. Для анализа затрат труда рассматривались предприятия, на которых ведется производство зерновых, кормовых культур, картофеля, мяса и молока.

«Во–вторых, на основе собранных данных осуществлялся анализ затрат труда ежегодно по группам предприятий для разных видов аграрной продукции. Оценивались статистические параметры рядов каждой группы предприятий: средние значения \bar{x}_{ij} , коэффициенты вариации c_{vij} , максимальные x_{maxij} и минимальные x_{minij} значения» [47]. Для их определения использованы формулы, приведенные в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Статистические параметры

№ п/п	Параметр	Формула
1	Среднее значение	$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K x_{ijk}}{K}$
2	Коэффициент вариации	$c_{vij} = \frac{\sigma_{ij}}{x_{ij}}$
3	Стандартная погрешность среднего	$\sigma_{\bar{x}_{ij}} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{K}}$
4	Стандартная погрешность коэффициента вариации	$\sigma_{c_{vij}} = \frac{c_{vij}}{\sqrt{2K}}, \sigma_{c_{vij}} = \frac{c_{vij}}{\sqrt{2K}} \sqrt{1 + C_{vij}^2}$
5	Стандартные ошибки среднего и коэффициентов вариации	Метод Монте-Карло

Символ i характеризует номер группы предприятия, j – номер предприятия в группе, а k – количество значений ряда ($i=1, 2, 3, 4$; $j=1, 2, \dots, J$; $k=1, 2, \dots, K$). Значения n изменяются в зависимости от числа предприятий в группе.

На основании формул, приведенных в таблице 1.8, рассчитаны усредненные средние значения \bar{x}_{ij} , коэффициенты вариации c_{vij} , максимальные x_{maxij} и

минимальные $x_{min_{ij}}$ значения трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции различными группами предприятий.

В-третьих, по полученным параметрам \bar{x}_{ij} , C_{vij} , $x_{max_{ij}}$ и $x_{min_{ij}}$ определены усредненные значения по группам предприятий \bar{x}_i , \bar{C}_{vi} , $\sigma_{\bar{x}_i}$, $\sigma_{\bar{C}_{vi}}$, \bar{x}_{min_i} , $\sigma_{\bar{x}_{min_i}}$, \bar{x}_{max_i} , $\sigma_{\bar{x}_{max_i}}$ (таблица 1.9).

Используя формулу стандартного отклонения, находим стандартные отклонения статистических параметров:

$$\sigma_{A_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J (A_{ij} - \bar{A}_i)^2}{J-1}}, \quad (1.14)$$

где A_{ij} может принимать значения \bar{x}_{ij} , C_{vij} , $x_{max_{ij}}$ и $x_{min_{ij}}$, \bar{A}_i – их средние значения.

Приведенные в строке 3 и 4 формулы (таблица 1.8) справедливы для нормального закона распределения и гамма-распределения. Для оценки стандартных погрешностей для других законов распределения вероятностей можно использовать метод Монте-Карло [122].

В рамках рассматриваемых групп предприятия работают с большими расхождениями по трудозатратам на получение единицы продукции – полученные параметры обладают значительным рассеянием [47].

Ряды трудозатрат обладают значительным рассеянием. Другими словами, в рамках выделенных групп между предприятиями имеет место большое расхождение по трудозатратам [144]. При этом каждая группа характеризуется особенностями изменчивости рассматриваемого параметра.

В выделенных группах предприятий возделываются различные виды основной аграрной продукции, поэтому данные по некоторым показателям производства в таблице не приведены [51].

Таблица 1.9 – Усредненные значения статистических параметров трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции за многолетний период по группам предприятий, чел.-час./ц

Группы предприятий	\bar{x}_i	$\sigma_{\bar{x}_i}$	\bar{c}_{v_i}	$\sigma_{\bar{c}_{v_i}}$	\bar{x}_{min_i}	$\sigma_{\bar{x}_{min_i}}$	\bar{x}_{max_i}	$\sigma_{\bar{x}_{max_i}}$
Зерновые								
Микропредприятия	1,93	0,88	0,90	0,22	0,37	0,46	4,84	1,55
Малые предприятия	1,25	0,63	0,86	0,27	0,14	0,12	4,12	2,09
Средние предприятия	0,78	0,40	0,94	0,29	0,18	0,11	2,34	1,57
Крупные предприятия	0,69	0,24	0,66	0,22	0,22	0,09	1,42	0,58
Картофель								
Микропредприятия	-	-	-	-	-	-	-	-
Малые предприятия	1,90	1,47	0,89	0,32	0,34	0,16	5,22	3,87
Средние предприятия	-	-	-	-	-	-	-	-
Крупные предприятия	-	-	-	-	-	-	-	-
Кормовые культуры								
Микропредприятия	-	-	-	-	-	-	-	-
Малые предприятия	0,17	0,04	0,83	0,21	0,04	0,02	0,47	0,23
Средние предприятия	0,24	0,11	0,99	0,19	0,05	0,02	0,65	0,30
Крупные предприятия	0,14	0,06	0,88	0,51	0,04	0,02	0,41	0,29
Молоко								
Микропредприятия	-	-	-	-	-	-	-	-
Малые предприятия	5,03	2,71	0,62	0,14	1,62	0,95	10,83	5,97
Средние предприятия	4,72	1,33	0,60	0,17	2,10	0,39	9,73	3,05
Крупные предприятия	2,63	0,97	0,40	0,12	1,46	0,08	4,07	1,54
Мясо КРС								
Микропредприятия	66,92	54,83	0,83	0,30	21,40	13,19	168,41	185,38
Малые предприятия	51,17	23,28	0,90	0,28	8,27	4,60	182,21	128,33
Средние предприятия	33,53	10,41	0,70	0,24	11,97	5,86	88,85	65,71
Крупные предприятия	22,24	6,99	0,60	0,23	11,74	2,83	47,92	26,23
Свинина								
Микропредприятия	81,36	68,94	0,80	0,24	43,40	40,02	120,38	117,25
Малые предприятия	78,98	46,83	0,77	0,25	24,95	12,64	150,50	94,90
Средние предприятия	65,31	24,28	0,45	0,15	52,72	26,08	78,98	30,71
Крупные предприятия	9,14	3,64	0,86	0,26	4,84	3,06	14,06	9,68

Согласно таблице 1.9 усредненные затраты труда (\bar{x}_i) на возделывание зерновых микропредприятиями региона за анализируемый период составляют 1,93 чел.-час./ц, что больше затрат труда на малых предприятиях на 35,2 %. При этом рассеяние, характеризуемое коэффициентом вариации \bar{c}_{v_i} , больше на 4,4 %. Затраты труда на малых предприятиях больше чем в средних на 60,3%. Причем

расхождение параметра рассеяния незначительно (9,3 %). Наименьшие усредненные затраты труда на возделывание зерновых культур имеют место для крупных предприятий. Они ниже на 13,0% по сравнению со средними предприятиями. Особо отличается коэффициент \bar{c}_{v_i} – на 42,4 %, что показывает большую стабильность работы крупных предприятий. Согласно стандартным ошибкам этих параметров наименьшими значениями обладают параметры крупных предприятий.

Затраты труда на выращивание картофеля можно проанализировать только для малых предприятий в силу недостаточности информации. В среднем за анализируемый период значение рассматриваемого показателя составляет 1,90 чел.-час./ц. Однако следует обратить внимание на значительное расхождение затрат труда между предприятиями согласно коэффициенту вариации ($\bar{c}_{v_i} = 0,89$), наибольшему ($\bar{x}_{max_i} = 5,22$) и наименьшему значениям ($\bar{x}_{min_i} = 0,34$).

При производстве кормовых культур коэффициент вариации в группах предприятий колеблется в пределах от 0,83 до 0,99, что подразумевает нестабильность затрат труда за многолетний период. Причем это касается всех групп предприятий. Тем не менее по усредненным данным наименьшие затраты труда на возделывание кормовых культур наблюдаются в крупных предприятиях. На малых предприятиях \bar{x}_i ниже, чем в средних, на 29,2 %, но выше, чем на крупных, на 21,4 %. Согласно стандартным ошибкам средних значений наименьшими значениями обладают параметры малых предприятий. Наименьшей ошибкой коэффициентов вариации обладают значения для средних предприятий.

Усредненные «трудозатраты на производство молока по сравнению с предшествующими показателями являются наиболее стабильными, т.к. коэффициент вариации не столь значителен. Затраты труда снижаются с увеличением размера предприятия» [51]. На малых предприятиях по сравнению со средними они выше на 6,2 %, в средних по сравнению с крупными – на 44,3 %.

Согласно стандартным ошибкам анализируемых параметров наименьшими значениями обладают параметры крупных предприятий.

В производстве мяса также наблюдается тенденция снижения затрат труда при увеличении размера предприятия. Согласно коэффициенту вариации наиболее стабильно мясное производство на средних и крупных по размеру предприятиях. Наименьшее рассеяние трудозатрат также отмечается в производстве на средних и крупных предприятиях.

Эмпирические данные изменчивости трудозатрат в разных группах предприятий показывают тенденцию уменьшения, поэтому можно предположить наличие тренда в рядах параметра.

Согласно анализу статистических параметров трудозатрат на производство основных видов продукции по группам предприятий можно сделать следующие выводы:

1. Имеет место уменьшение средних значений затрат труда на производство основных видов продукции от микропредприятий и крупным предприятиям.

2. Наиболее стабильно работают крупные предприятия, характеризующиеся наименьшими средними значениями и относительно невысокими коэффициентами вариации трудозатрат.

3. Наибольшей нестабильностью характеризуются микропредприятия, параметр рассеяния которых достигает очень больших величин.

4. Помимо оценки статистических параметров необходимо определить наличие трендов изменчивости трудозатрат.

5. Следует отметить, что группы предприятий могут изменяться количественно от года к году: например, ОАО «Барки» Иркутского района до 2014 года относилось к малым предприятиям, а с 2014 года перешло в группу средних предприятий, а в 2017 году численность работников снизилась и оно снова стало принадлежать к малым предприятиям; ООО «Луговое» Иркутского района было крупным предприятием, а с 2007 года стало средним из-за снижения численности работников.

В заключении отметим, что «каждая группа обладает особенностями аграрного производства. Рассмотрена динамика затрат труда в различных группах

предприятий по производству: зерна, картофеля, кормовых культур, мяса и молока» [51].

В дополнение отметим большое значение учета «особенностей изменчивости трудозатрат при оптимизации производства аграрной продукции. Следует иметь в виду, что этот параметр, который зависит от степени развития предприятия, природно-климатических условий, специализации, объемов производимой продукции, по разному влияет на развитие производства предприятия в зависимости от уровня агрегирования» [63].

Полученные закономерности применимы для улучшения управления производственным процессом на аграрных предприятиях Иркутской области [51].

1.3 Модели оптимизации производства продукции с учётом изменчивости трудозатрат

Вопросами изучения и реализации оптимизационных моделей занимались многие ученые региона и за его пределами [7, 18, 21, 28, 35, 70, 87, 98, 114, 115, 131, 142, 153 и др.].

В качестве оптимизационных моделей, отображающих аграрное производство, как правило, используются задачи линейного программирования. Они обладают простой структурой, математический аппарат для их реализации хорошо разработан, а результаты моделирования легко интерпретируются традиционными экономическими терминами [52].

Между тем при моделировании производства аграрной продукцией широко используются задачи линейного программирования в условиях неопределенности, когда коэффициенты при неизвестных в целевой функции и ограничениях, а также правые части могут быть описаны интервальными или вероятностными величинами.

На основе экстремальных задач определяются оптимальные планы производства для растениеводческой и животноводческой отраслей и их сочетания, структура посевов, рационы питания и др. В литературе приведена различная классификация моделей оптимизации получения продовольственной продукции [23, 32, 53, 61, 72, 73, 89, 118, 127, 131, 142, 154 и др.].

Рассмотрим классификацию прикладных экстремальных задач по следующим признакам:

- по отраслям (растениеводство, животноводство и сочетание отраслей);
- по неопределенности (с интервальными, случайными и детерминированными параметрами);
- по нелинейности (линейные и нелинейные);
- с учетом рисков (без учета и с учетом рисков);
- по динамике (статические и параметрические, если параметр время);
- по числу критериев (однокритериальные и многокритериальные) [39, 114, 135, 141, 153 и др.].

Общая задача линейного программирования записывается в следующей редакции:

$$f = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min (\max). \quad (1.15)$$

Критерием оптимальности выбирается минимум или максимум целевой функции.

В качестве ограничений выступают следующие неравенства:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \left\{ \leq = \geq \right\} b_i \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.16)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}), \quad (1.17)$$

где x_j – переменная, a_{ij} , b_i , c_j – заданные постоянные величины, i, j – индексы.

Результатом решения данной задачи будет нахождение оптимального плана, целевая функция при котором соответствует экстремальному значению.

Как правило, задачи линейного программирования не описывают реальных ситуаций, поскольку многофакторность процессов аграрного производства, различное их сочетание приводят к тому, что многие параметры, включаемые в модели программирования, являются неопределенными [22, 31, 104, 125 и др.]. К неопределенным параметрам относятся интервальные оценки. При этом неизвестно, каким образом варьируют значения параметра в пределах верхних и нижних оценок.

Подобную задачу линейного программирования с интервальными параметрами можно записать в следующем виде:

$$f = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j \rightarrow \min (\max), \quad (1.18)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \left\{ \leq = \geq \right\} \tilde{b}_i \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.19)$$

$$x_j \geq 0, \quad (1.20)$$

$$\underline{\tilde{c}}_j \leq \tilde{c}_j \leq \overline{\tilde{c}}_j, \quad (1.21)$$

$$\underline{\tilde{a}}_{ij} \leq \tilde{a}_{ij} \leq \overline{\tilde{a}}_{ij}, \quad (1.22)$$

$$\underline{\tilde{b}}_j \leq \tilde{b}_j \leq \overline{\tilde{b}}_j, \quad (1.23)$$

где $\underline{\tilde{a}}_{ij}$, $\underline{\tilde{b}}_j$, $\underline{\tilde{c}}_j$ – нижние и $\overline{\tilde{a}}_{ij}$, $\overline{\tilde{b}}_j$, $\overline{\tilde{c}}_j$ – верхние оценки параметров.

При решении задач линейного программирования с интервальными оценками эффективным является метод Монте-Карло. Алгоритм решения задачи с использованием метода статистических испытаний сводится к моделированию интервальных параметров модели случайным образом и нахождению оптимальных планов с соответствующим им значениям целевой функции. Из множества решений особый интерес вызывают оптимальные планы, при которых целевая функция принимает минимальное, максимальное и медианное значения.

Чем больше количество испытаний m , тем большее число различных оптимальных планов будет получено. Между тем с возрастанием m верхние и

нижние оценки целевой функции стабилизируются. В работе для задач с техногенными и природными событиями (засуха) [74] показано, что для оценки оптимальных планов при использовании интервальных параметров достаточно 100 испытаний. Очевидно, что наличие множества вариантов оптимальных решений в зависимости от влияния внешних условий способствует выбору плана, повышающего эффективность управления.

Недостаток задачи математического программирования с интервальными параметрами можно устранить, используя задачу стохастического программирования, в которой случайные параметры подчиняются законам распределения вероятностей. Задача математического программирования со случайными параметрами имеет вид:

$$f = \sum_{j=1}^n c^p_j x_j \rightarrow \min (\max), \quad (1.24)$$

$$\sum_{j=1}^n a^p_{ij} x_j \left\{ \leq = \geq \right\} b^p_i \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.25)$$

$$x_j \geq 0, \quad (1.26)$$

где p – вероятность.

Как и в предыдущем случае для решения задач стохастического программирования эффективно использовать метод статистических испытаний Монте-Карло. В предложенных моделях случайным образом моделируют вероятности, а затем с помощью известных законов распределения определяют параметры модели. В итоге получают множество оптимальных планов, связанных с вероятностями, каждому из которых соответствуют значения целевой функции. По сути, результатом решения являются вероятностные распределения целевых функций с соответствующими оптимальными планами.

Недостатком метода в ряде случаев выступает трудность интерпретации интегральной вероятности или обобщение моделируемых частных вероятностей.

В некоторых случаях параметры задач линейного программирования можно задать в виде функций, которые зависят от некоторых параметров t [5, 12, 21, 89, 94, 106, 125, 127 и др.].

При решении задач планирования аграрного производства в качестве параметров использованы: время, предшествующие значения, факторы урожайности культур [16, 22, 24, 28, 90, 95, 101, 128, 160–163, 165 и др.]. При этом задачи параметрического программирования применены для оптимизации производства продукции скотоводства, сочетания отраслей, получения пищевой продукции леса и др. Из различных групп задач параметрического программирования выделим однопараметрические и многопараметрические задачи.

Однопараметрическая задача:

$$f = \sum_{j=1}^n c_j(t) x_j \rightarrow \min (\max), \quad (1.27)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}(t) x_j \left\{ \leq = \geq \right\} b_i(t) \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.28)$$

$$x_j \geq 0, \quad (1.29)$$

где t изменяется в интервале $[\alpha, \beta]$.

Многопараметрическая задача:

$$f = \sum_{j=1}^n c_j(t_1, t_2, \dots, t_k) x_j \rightarrow \min (\max), \quad (1.30)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}(t_1, t_2, \dots, t_k) x_j \left\{ \leq = \geq \right\} b_i(t_1, t_2, \dots, t_k) \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1.31)$$

$$x_j \geq 0, \quad (1.32)$$

где t_k изменяется в интервале $[\alpha_k, \beta_k]$, k – число факторов.

В условиях природных и техногенных рисков аграрного производства применяют задачи стохастического программирования с учетом одного или нескольких экстремальных явлений.

Задача математического программирования со случайными параметрами, учитывающая экстремальные природные явления имеет вид:

$$f = \sum_{j \in J} c_j x_j + \sum_{z \in Z} \sum_{j \in J} d_{zj}^p x_j \rightarrow \min, \quad (1.33)$$

$$\sum_{z \in Z} \sum_{j \in J} (a_{ij} - a_{zij}^p) x_j \left\{ \leq, =, \geq \right\} b_i - \sum_{z \in Z} b_{zi}^p \quad (i \in I), \quad (1.34)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J), \quad (1.35)$$

где x_j – искомая переменная; c_j – коэффициенты при неизвестных; d_{zj}^p – коэффициенты ущербов, причиненных множеством природных событий Z производству продукции j ; a_{ij} и a_{zij}^p – коэффициенты в системе ограничений без учета и с учетом влияния экстремальных явлений; b_i и b_{zi}^p – правые части ограничений при условии уменьшения ресурсного потенциала ввиду проявления природных событий; p – расчетная вероятность, характеризующая значение функции распределения. В данной задаче минимизируют затраты на производство аграрной продукции. Двойные суммы учитывают увеличение затрат на производство с учетом ряда экстремальных явлений различного происхождения, а правая часть ограничений характеризуется уменьшением ресурсов.

Общую задачу математического программирования со случайными параметрами (1.33)–(1.35) можно разделить на частные задачи. Например, вероятностным является критерий оптимальности, а ограничения – детерминированными величинами. В других случаях в качестве случайных параметров используются коэффициенты при неизвестных в левых частях ограничений или правые части условий. Применение тех или иных частных моделей обусловлено особенностями параметров.

При учете в (1.33)–(1.35) нескольких событий их повторяемость будет различна. В результате решения задачи можно получить распределение критерия оптимальности в зависимости от вероятности совмещения событий, которое связано с рассеянием вероятностей и точностью определения значения события $f^\zeta(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, где ζ – вероятность совмещения событий, а x_j^* – переменные соответствующие оптимальному решению задачи.

Критерий оптимальности (1.33) и условия (1.34)–(1.35) позволяют оценить производство продукции с заданной вероятностью p . Переменные целевой функции и ограничений могут быть детерминированными и случайными.

Во множество экстремальных явлений H могут входить не только природные события, но и техногенные аварии. К ним относятся пожары промышленных предприятий и лесных массивов, взрывы, аварии на системах коммунального обеспечения и транспорте, сбросы и выбросы на природные объекты опасных химических и радиоактивных веществ. В качестве природных явлений рассматриваются наводнения в весенний и летний период, ливни, продолжительные обложные осадки, сильный ветер, атмосферные и почвенные засухи, снегопады и заморозки в период посева или уборки урожая, суровые зимы [77, 79, 116 и др.].

Перечисленные задачи линейного программирования с детерминированными и неопределенными параметрами применяются в аграрной сфере для планирования производства растениеводческой, животноводческой продукции, оптимизации сочетания отраслей, кормопроизводства, машинно-тракторного парка и др.

Кроме того, для Иркутской области реализованы модели оптимизации аграрного производства с учетом экстремальных природных явлений. В частности, для предприятий Тайшетского района возможно уменьшение ущерба от гидрологических событий на 10–15 % [31].

При решении задач минимизации земельных ресурсов использованы линейные упрощенные, детализированные, и модели с неопределенными и стохастическими параметрами. Моделирование показало, что для более рационального использования земельных ресурсов на территории Иркутской области необходимо повышать урожаи зерновых, картофеля и овощей на 3–5 % относительно средних значений [80]. При этом, учитывая значительную лесистость региона, предложено частичное сокращение сельскохозяйственных угодий за счет производства пищевой лесной продукции.

Авторами работы [53] реализована задача моделирования размещения сельскохозяйственных культур с использованием многомерных распределений

весеннего половодья и дождевых паводков применительно к аграрному предприятию.

В работах [21, 45, 79] для оценки многолетней изменчивости урожайности пшеницы и среднегодового надоя молока применяются модели с верхним предельным значением, которые при решении задач параметрического программирования приводились к линейному виду.

Функции с верхними предельными значениями наиболее часто применяются для прогнозирования длительных многолетних изменений производственно-экономических показателей, в связи с тем, что руководителей стабильно работающих аграрных предприятий интересует решение вопросов развития деятельности на долговременную перспективу [57, 119].

В работе [79] использованы гиперболические зависимости себестоимости сельскохозяйственной продукции от урожайности культур с учетом наличия нижнего предельного значения для себестоимости, определенного по эмпирическим данным для различных предприятий АПК Иркутской области. При этом авторами книги использованы 2 варианта модели параметрического программирования – когда урожайность представляла собой абсолютные величины, либо логарифмические значения [45].

Особенности же изменчивости трудовых ресурсов аграрной отрасли позволяют решать задачи параметрического программирования с целевой функцией на минимизацию трудозатрат, поскольку некоторые группы предприятий (малые, средние и крупные), характеризуются устойчивыми нелинейными трендами [45]. Кроме того, в ряде случаев имеют место факторные зависимости затрат труда от производственно-экономических параметров [52].

На основе анализа приложений экстремальных задач к оптимизации производства аграрной продукции в разных отраслях сельского хозяйства и их сочетании [18, 24, 31, 53, 75, 115, 118, 142 и др.] предлагается решать задачи оптимизации трудозатрат для получения продовольственной продукции.

Критерием оптимальности является минимум затрат труда:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s + \sum_{h \in H} c_h x_h \rightarrow \min, \quad (1.36)$$

где x_s, x_h - искомые переменные объемы производства растениеводческой продукции s и животноводческой продукции h ; c_s - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции; c_h - затраты труда на единицу животноводческой продукции h ;

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов:

$$\sum_{s \in S} w_{ls} x_s + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (1.37)$$

где w_{ls} - расход ресурса l на единицу продукции растениеводства; w_{lh} - расход ресурсов вида l на единицу животноводческой продукции h ; W_l - наличие ресурса вида l ;

использования в животноводстве побочной растениеводческой продукции:

$$\sum_{s \in S} p_{js} x_s \geq x_j \quad (j \in J), \quad (1.38)$$

где p_{js} - выход с единицы площади культуры s вида корма j ; x_j - количество кормов вида j , которое используется для животноводства;

ограниченности размера отраслей, в том числе:

растениеводства:

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{n}_r \quad (r \in R), \quad (1.39)$$

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

животноводства:

$$x_h = \lambda_{hh'} x_{h'}, \quad (h, h' \in H), \quad (1.40)$$

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

производства конечной аграрной продукции не менее заданного объема, в том числе:

растениеводства:

$$\sum_{s \in S} v_{qs} x_s \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (1.41)$$

где v_q – гарантированный объем производства растениеводческой продукции вида q ; v_{qs} – выход единицы товарной растениеводческой продукции вида q ;

животноводства:

$$\sum_{h \in H} v_{q_1 h} x_h \geq V_{q_1} \quad (q_1 \in Q_1), \quad (1.42)$$

где v_{q_1} – гарантированный объем производства животноводческой продукции вида q_1 ; $v_{q_1 h}$ – выход единицы животноводческой продукции вида q_1 ;

увязки животноводства с растениеводством, в том числе:

балансирования рационов животных по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} a_{is} p_s x_s + \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq \sum_{h \in H} b_{ih} x_h \quad (i \in I), \quad (1.43)$$

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

по структуре производства кормов:

$$\sum_{h \in H} \underline{d}_{kh} x_h \leq \sum_{s \in S_k} a_{is} p_s x_s + \sum_{j \in J_k} a_{ij} x_j \leq \sum_{h \in H} \bar{d}_{kh} x_h \quad (k \in K), \quad (1.44)$$

где \underline{d}_{kh} , \bar{d}_{kh} – минимально и максимально допустимые нормативные размеры потребности в кормах группы k единицы поголовья вида (группы) животных h , выраженный в кормовых единицах;

неотрицательности переменных:

$$x_s, x_h \geq 0. \quad (1.45)$$

Приведенная модель является детерминированной задачей линейного программирования. Между тем трудозатраты могут быть получены как прогностические величины с помощью трендов, авторегрессионных зависимостей и факторных моделей. При этом функции могут быть как линейными, так и нелинейными. В других ситуациях, когда затраты труда являются величиной случайной, то их изменчивость может быть описана с помощью законов распределения вероятностей. При невозможности описания трудозатрат законом распределения вероятностей параметр можно рассматривать как интервальную величину, ограниченную верхними и нижними оценками.

Поэтому в работе предлагается определение оптимизационных моделей трудозатрат с учетом особенностей изменчивости параметров, характеризующих деятельность различных групп предприятий по численности.

1.4 Информационные системы моделирования демографических, экологических и производственно-экономических параметров аграрного производства

Одним из важнейших критериев разработки автоматизированной системы является максимальное соответствие реализуемым моделям. В тоже время разрабатываемая система прогнозирования должна обеспечивать возможность тестирования корректности моделей на всех стадиях ее разработки. Такая возможность предполагает разработку гибкой модификации приложения для удовлетворения программных, системных и прикладных требований. В том случае, если предъявляемые требования удовлетворены, тогда разработанная система является платформой интеграции алгоритмических модулей, модулей обработки данных и пользовательского интерфейса.

Решение задач по анализу и прогнозированию временных рядов начинается с определения динамики исследуемых показателей и выявления факторов,

влияющих на результативный признак. Широкое распространение на практике получили упрощенные методы выявления тенденции ряда. Поскольку графики изменения численности населения имеют плавный рост или уменьшение, распространенным приемом является сглаживание временного ряда с помощью скользящей средней [68].

В задачах прогнозирования демографических показателей на региональном уровне количество включаемых в модель факторов ограничивается объемом выборки. Одним из возможных вариантов построения модели в данном случае является интегрированная модель авторегрессии-скользящего среднего.

В Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» с 2011 г. стартовал исследовательский проект «Разработка базы данных демографических показателей по регионам России и странам мира» №11-04-0039 по конкурсу Программы «Научный фонд ВШЭ» «Учитель – Ученики 2011-2012». Участники Проекта ставят себе цель объединить основные известные в настоящее время источники демографических показателей и предоставить доступ к накопленной информации в едином удобном формате через гибкий веб-интерфейс.

Важнейшим этапом данной работы является анализ имеющихся баз данных с точки зрения современного уровня научных исследований, выявление их особенностей и недостатков, анализ интерфейса пользователя, оценка источников по широкому спектру критериев (характеру доступа, точности, форматам, периодичности обновления и другим).

Примером реализованной базы данных, которая во многом может служить образцом как самой статистической информации, методов и качества ее сбора, так и формы ее предоставления может служить работа статистической службы Швеции. Таблицы дают подробную характеристику демографических процессов и структур: содержат их разрезы по полу, возрасту и регионам страны, вплоть до отдельных населенных пунктов.

В России подобная демографическая база данных реализована Федеральной службой государственной статистики и находится в свободном доступе на сайте [140].

Представлены динамические таблицы, при помощи которых можно получить информацию как в целом по России, так и в разрезе ее субъектов.

Информацию можно получить по таким показателям, как: население, труд, уровень жизни населения, образование, здравоохранение, охрана окружающей среды, правонарушения, производство товаров и услуг, сельское хозяйство, строительство, транспорт и связь, торговля и услуги населению, финансы, инвестиции, цены, внешнеэкономическая деятельность.

В интересующем нас разделе «Население» можно сформировать динамические таблицы по таким важным показателям как:

- численность постоянного населения на 1 января;
- число родившихся (без мертворожденных);
- число умерших;
- естественный прирост населения;
- миграция и др.

Представленная информация позволяет составлять динамические таблицы по интересующим показателям в режиме реального времени и значительно сокращает затраты труда и времени на сбор необходимых данных.

В системе можно найти информацию по населению России и субъектов в разрезе по типу населения (городское и сельское), по полу, возрасту и ряду других признаков. Можно выделить информацию по сельскому населению региона и его районов по возрастным группам (трудоспособное население и население старше трудоспособного возраста).

Оценка изменчивости трудоспособного сельского населения связана с трудозатратами в аграрном производстве. Для планирования производства как сложного процесса используют различные автоматизированные информационные системы – программные комплексы и модули различного рода применительно к

сельскому хозяйству разработаны многими авторами [16, 25, 30, 77, 83, 85, 96, 115, 116, 120, 133, 157 и др.].

Что касается Иркутской области, то здесь разработан ряд программных комплексов, связанных с планированием производства в условиях неопределенности.

В частности, программный комплекс «Региональный агропромышленный кластер» предназначен для выделения кластеров по заданным признакам и оптимизации взаимодействия участников агропромышленных кластеров. Программный комплекс «Засуха» позволяет описывать изменчивость агрономических засух и решать задачи оптимизации производства аграрной продукции в условиях проявления засушливых явлений. Информационная система моделирования природных событий ориентирована на решение задач оценки природных событий различного происхождения и оптимизации производства продукции с учетом паводков и половодий. Природный комплекс оптимизации земельных ресурсов связан с решением задач определения минимального количества сельскохозяйственных угодий и земель лесного фонда для производства продовольственной продукции в регионе. И, наконец, информационная система прогнозирования сроков технологических операций позволяет определять будущие даты посевов с использованием базы данных о средних суточных температурах воздуха и осадках для различных природно-климатических территорий региона [18, 25 и др.].

Разработка универсального комплекса эколого-экономических моделей «Регион» и сопровождающего его специализированного программно-информационного комплекса решили проблему необходимости создания специализированного программно-информационного комплекса для работы с моделями и информацией на ЭВМ, а также разработки специальных методик информационного обеспечения модели, позволяющих по имеющейся информации получать требуемые коэффициенты [25, 133].

Разнообразные процессы, наблюдающиеся в природно-экономической системе, объединены в агрегированной модели «Регион» к следующим

категориям: рост производства, потребление продуктов, межрайонный обмен, самовосстановление, искусственное восстановление природных ресурсов, их взаимное влияние, повышение затрат при ухудшении состояния среды и ресурсов [25].

Регион рассмотрен как территория, разбитая по эколого-экономическим соображениям на участки, связанные транспортной сетью и путями возможной миграции ресурсов. При этом каждый участок описан однотипной системой уравнений обобщенного динамического баланса.

Разработанный автором [16] программный комплекс планирования технологических операций основан на созданном комплексе алгоритмов определения сроков агротехнологических операций, математическом обеспечении и специальной базе данных, включающей агроклиматические сведения. Данный комплекс связан с другими программными комплексами и источниками данных для расширения функций прогнозирования и планирования агротехнологических операций.

Важной функцией программного комплекса является решение задач оптимизации структуры производства. Программный комплекс позволяет находить решение трех различных вариантов задач по оптимизации структуры производства аграрной продукции: с детерминированными параметрами, интервальными оценками этих параметров, и интервальной оценкой коэффициентов влияния своевременности посева. С помощью программного комплекса решаются различные виды задач оптимизации структуры посевных площадей с учетом ситуаций посева [16]. Система предназначена для использования на средних и крупных аграрных предприятиях Иркутской области разных природно-экономических зон. «Основными пользователями программного комплекса являются агроном и экономист. Использование этого программного комплекса на аграрных предприятиях позволяет повысить эффективность планирования производства в целом» [16].

Разработан проблемно-ориентированный программный комплекс «Моделирование биопродуктивности», решающий задачи моделирования

урожайности и оптимизации структуры посевов [118] для планирования аграрного производства. Основная функция созданного комплекса – моделирование биопродуктивности культур с учетом изменчивости климата.

В литературе [79] приведен «проблемно-ориентированный программный комплекс по решению задач математического программирования для оптимизации производства аграрной продукции с оценкой страховых возмещений в условиях проявления редких природных явлений, последствий техногенных воздействий и совмещений природных и техногенных событий. В качестве входных данных программного комплекса использованы природные, техногенные и производственно-экономические параметры. Результатом моделирования является: 1) пространственно-временная оценка редких природных событий и техногенных последствий; 2) оценка серий событий; 3) оптимальные планы производства аграрной продукции в условиях проявления природных событий, техногенных последствий и их совмещения» [79].

Особенность рассматриваемого программного обеспечения заключается в возможности комплексной обработки событий, оценке редких значений, серий событий, их связей, определении редкого совмещения природных и техногенных событий. Полученные автором разработки позволяют моделировать различные ситуации производства аграрной продукции в условиях неблагоприятной внешней среды на основе предложенных моделей, алгоритмов, информационного и программного обеспечения с определением сумм страховых возмещений [79].

Между тем в условиях изменения демографических показателей, внедрения новых технологий производства большое значение для сельскохозяйственных предприятий имеет оптимизация численности работников и трудозатрат на производство продукции.

По этой причине предлагается использовать программный комплекс «Моделирование трудозатрат», который позволит решать задачи оптимизации трудозатрат для различных групп предприятий с учетом особенностей изменчивости их параметров и базой данных, с помощью которой по первичным данным определяются трудозатраты на производство продукции. В состав

математического обеспечения программного комплекса входят задачи параметрического программирования, модели с интервальными, случайными параметрами и смешанные модели. Кроме того, здесь применимы нелинейные модели прогнозирования трудозатрат с верхними и нижними оценками.

Другими словами, для решения задач оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции предлагается построить программный комплекс, позволяющий:

- 1) осуществлять обработку данных по ежегодному распределению товаропроизводителей по 4 группам аграрных предприятий (микро, малые, средние и крупные);
- 2) определять статистические характеристики изменчивости трудозатрат по годам в группах предприятий;
- 3) выделять тренды изменчивости трудозатрат для производства различных видов аграрной продукции;
- 4) создавать факторные модели трудозатрат с учетом климатических и технологических параметров;
- 5) создавать различные варианты моделей математического программирования для минимизации трудозатрат в условиях неопределенности;
- 6) решать задачи математического программирования в условиях неопределенности.

2 Математическое обеспечение оптимизации трудовых затрат аграрными предприятиями региона

2.1 Детерминированная модель параметрического программирования обеспечения трудовых затратами аграрных предприятий региона

Отметим большое значение особенностей изменчивости затрат труда при оптимизации производства аграрной продукции. Этот параметр может обладать различными свойствами в зависимости от уровня развития предприятия, природно-климатических условий, специализации, объемов производимой продукции и др. [63].

Каждая выделенная группа предприятий по численности обладает особенностями изменчивости затрат труда на такие виды продукции как зерновые, картофель, кормовые культуры и молоко [51]. При этом следует учитывать тот факт, что картофель, например, производят в основном малые предприятия, поэтому могут иметь место исключения из приведенных закономерностей.

Согласно полученным результатам затраты труда в микропредприятиях изменяются случайным образом. При недостаточности данных этот параметр можно рассматривать как интервальную оценку.

Наличие в многолетних рядах малых, средних и крупных предприятий значимых тенденций и автокорреляционных связей позволяет при оптимизации аграрного производства использовать аналитические выражения.

В работе предлагаются различные варианты модели оптимизации затрат труда в зависимости от их особенностей изменчивости.

В задачах оптимизации одним из направлений является применение детерминированных моделей. Вся входная информация в них является определяемой.

Проблемой является то, что преобладающее большинство ситуаций в аграрном секторе невозможно описать при помощи детерминированных моделей [23]. В ряде случаев переменные могут быть случайными или оценены с помощью верхних и нижних значений.

Наличие значимых тенденций изменчивости затрат труда на производство основных видов аграрной продукции позволяет использовать задачи параметрического программирования со значимыми трендами при планировании. Причем при построении трендов в решении задач для конкретных аграрных предприятий учитываются особенности производства, связанные с затратами труда (непосредственно или косвенно).

Помимо трендов можно использовать авторегрессионные связи и модели, в которых коэффициенты при неизвестных целевой функции и левых частей ограничений и правые части, связаны с предшествующими значениями и временем.

Хотя регрессионные зависимости не являются детерминированными, можно с некоторым приближением считать случайную составляющую незначительной по сравнению с детерминированной составляющей. В этом случае применимы разные варианты задачи параметрического программирования для оптимизации трудозатрат на производство различной аграрной продукции [23].

Модели изменчивости трудозатрат для предприятий различных групп

Трудозатраты на производство основных видов аграрной продукции в динамике снижаются, что обусловлено, прежде всего, с ростом уровня оснащённости предприятий техникой и внедрением новых технологий. Чем выше уровень технологий на предприятии, тем ниже его трудозатраты на производство аграрной продукции [45].

В рамках выделенных групп предприятия работают с большими расхождениями по трудозатратам на получение единицы продукции [145]. Вместе с тем наблюдаются тенденции снижения средних трудозатрат по всем группам предприятий за рассматриваемый период. В работе [47] предложены линейные

модели, описывающие снижение средних затрат труда для различных групп предприятий [47].

Проведем анализ временной изменчивости рядов трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции по группам предприятий. Для этого используем методы построения линейных и нелинейных трендов для усредненных средних значений трудозатрат каждой группы предприятий.

На рисунке 2.1 показана динамика уменьшения средних годовых затрат труда на выращивание зерновых предприятиями различного уровня агрегирования за 2006–2017 гг. Так, значение этого параметра находится: на микропредприятиях в интервале $1,1 \div 3,9$, на малых – $0,5 \div 2,4$, на средних – $0,3 \div 1,6$ и на крупных $-0,4 \div 0,8$ чел.-час./ц.

Уравнения регрессии и параметры их оценки приведены в таблице 2.1. Кроме приведенных в таблице критериев оценивались также их адекватность и значимость коэффициентов. В приложении Ж приведены результаты оценки качества моделей. Значимые тренды снижения средних годовых затрат труда наблюдаются для средних и крупных предприятий, для которых функции характеризуются коэффициентами детерминации (R^2) 0,74 и 0,80 [47].

Что касается малых предприятий, то изменчивость затрат труда описывается трендовой моделью с точностью – 0,66.

Для микропредприятий не выявлено значимых регрессионных зависимостей.

Таблица 2.1 – Модели изменчивости усредненных трудозатрат на производство зерна различными группами предприятий Иркутской области

Группы предприятий	Уравнение	R^2	Уровень значимости F -критерия Фишера
Тренд			
Малые предприятия	$x = -0,142t + 2,168$	0,66	$1,28 \cdot 10^{-3}$
Средние предприятия	$x = 0,008t^2 - 0,203t + 1,598$	0,74	$4,38 \cdot 10^{-3}$
Крупные предприятия	$x = 0,002t^2 - 0,058t + 0,884$	0,80	$1,48 \cdot 10^{-3}$

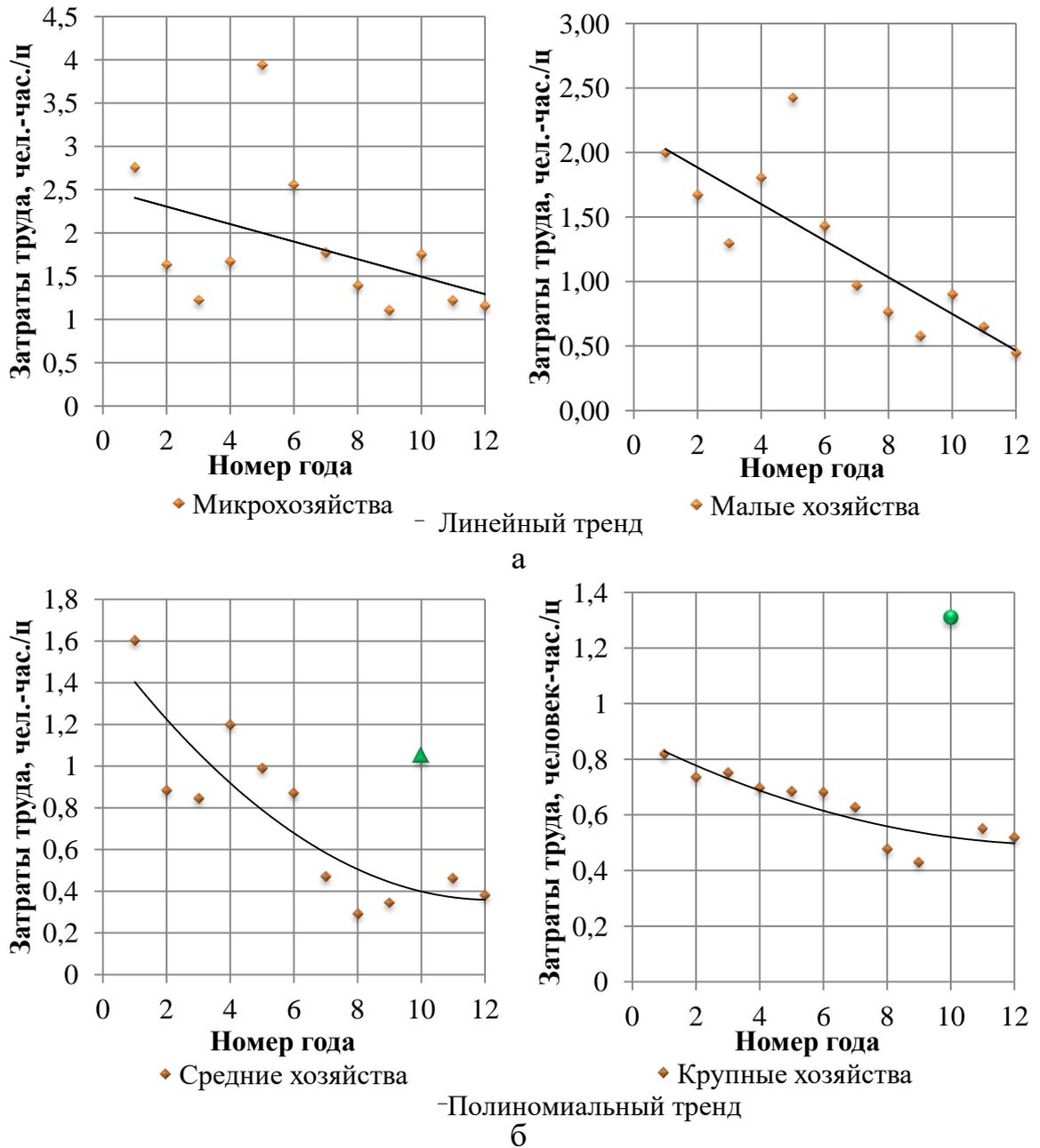


Рисунок 2.1 – Динамика изменчивости средних годовых затрат труда по группам предприятий на выращивание зерновых на предприятиях Иркутской области за период 2006–2017 гг. с использованием линейного (а) и параболического (б) трендов

При этом следует отметить, что тренды для средних и крупных предприятий приведены без учета экстремального климатического события (засуха), имевшего место в 2015 г. Данные по трудозатратам в этом году не типичны. Поэтому для оценки затрат труда в таких случаях предлагается анализ

ситуации с определением факторов и вероятности повторяемости подобных событий.

По-другому выглядит динамика изменчивости трудозатрат на возделывание картофеля (таблица 2.2).

Согласно данным таблицы 2.2 возделывание картофеля малыми предприятиями характеризуются удовлетворительной точностью зависимости и высокой интенсивностью уменьшения затрат. К этому добавим, что наблюдаются высокие значимые коэффициенты автокорреляции, что подтверждает тесную связь между значениями затрат труда в последующем и предыдущем годах [47]. В приложении Ж приведены зависимости, обладающие точностью и адекватностью.

Таблица 2.2 – Модели изменчивости трудозатрат на возделывание картофеля малыми предприятиями региона за 2006–2017 гг.

Модель	Уравнение	R^2 или R_1^2	Уровень значимости F -критерия Фишера
Тренд	$x = -0,296t + 3,612$	0,65	$1,46 \cdot 10^{-3}$
Авторегрессия	$x_i = 0,602 x_{i-1} + 0,349$	0,67	$2,17 \cdot 10^{-3}$

Модели, приведенные в таблице 2.2, имеют близкие значения коэффициентов детерминации. Отметим, что средние и крупные предприятия так же занимаются производством картофеля, но тренды в рассматриваемых рядах не выявлены. В первую очередь это обусловлено тем, что малые предприятия специализируются в основном на производстве картофеля, а средние и крупные предприятия зачастую имеют другую специализацию [47].

При моделировании динамики изменчивости трудозатрат на возделывание кормовых культур выявлено, что во временных рядах трудозатрат для малых, средних и крупных предприятий отсутствуют тренды. При этом трудозатраты на возделывание кормовых культур малыми предприятиями находятся в интервале $0,10 \div 0,34$, для средних – в промежутке $0,10 \div 0,41$ чел.-час./ц. Для крупных предприятий исследуемый параметр является наименьшим, изменяясь в интервале $0,05 \div 0,23$ чел.-час./ц.

В соответствии с рисунком 2.2 коэффициенты уменьшения трудозатрат на производство молока в различных группах предприятий Иркутской области за рассматриваемый период разные, как и диапазоны их изменения [47].

Трудозатраты в микропредприятиях не имеют тенденции, зависимость случайная, трудозатраты ведут себя непредсказуемо. В крупных предприятиях трудозатраты падают с меньшей скоростью, что объясняется высокой стабильностью их работы по данному направлению за анализируемый период. Наибольшей точностью при этом обладает трендовая модель трудозатрат для малых и крупных предприятий $R^2=0,88$ и $0,87$ соответственно. Кроме того, оценивались значимость коэффициентов уравнений, и проводилась проверка остатка ряда на случайность. Модели, при построении которых выполняются все условия, предъявляемые к качеству моделей, приведены в приложении Ж. Трудозатраты на крупных предприятиях за 12 лет сократились практически более чем в 2 раза. Малые предприятия уменьшили трудозатраты на производство молока практически в 4 раза. При этом за последние четыре года наблюдается стабилизация рассматриваемого показателя.

При моделировании динамики изменчивости затрат труда на выращивание животных выявлено, что во временных рядах трудозатрат на производство свинины для всех групп предприятий отсутствует тренд. На микропредприятиях трудозатраты ведут себя непредсказуемо. При этом трудозатраты в свиноводстве на малых предприятиях находятся в промежутке $42,0 \div 184,0$, в средних предприятиях – в промежутке $27,0 \div 90,0$. Для крупных предприятий исследуемый параметр является наименьшим, изменяясь в интервале $7,0 \div 18,0$ чел.-час./ц.[47].

Что касается выращивания КРС, то согласно данным таблицы 2.3 изменчивость затрат труда для микропредприятий описывается при помощи полиномиальной зависимости, точность которой в соответствии с коэффициентом детерминации равна $0,62$. Что касается малых предприятий, то точность уравнений, описывающих изменчивость трудозатрат на производство говядины, оценивается коэффициентами детерминации $0,71-0,74$.

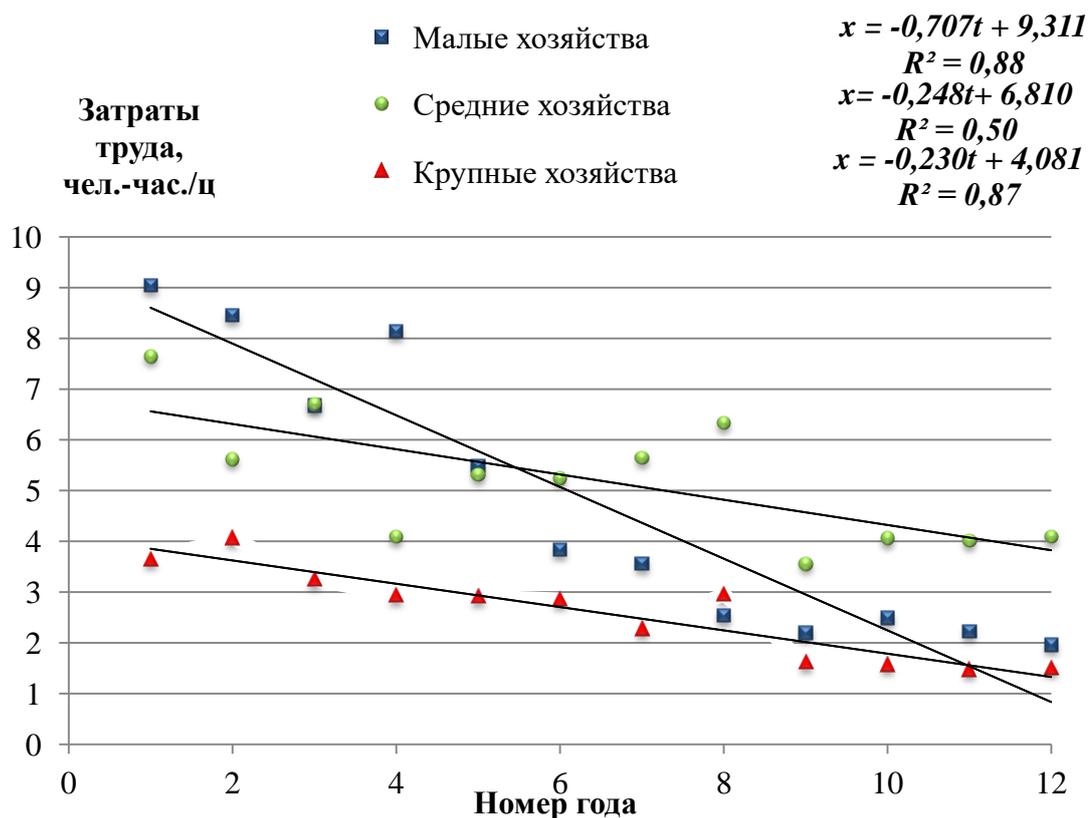


Рисунок 2.2 – Динамика изменчивости средних трудозатрат на производство молока в группах предприятий Иркутской области за период 2006–2017 гг. с использованием линейного тренда

Таблица 2.3 – Модели изменчивости затрат труда на выращивание КРС предприятиями региона за 2006–2017 гг.

Группы предприятий	Уравнение	R^2	Уровень значимости F -критерия Фишера
Тренд			
Микропредприятия	$x = 2,385t^2 - 39,777t + 196,164$	0,62	$1,31 \cdot 10^{-2}$
Малые предприятия	$x = -5,428t + 86,447$	0,71	$6,16 \cdot 10^{-4}$
	$x = -0,365t^2 - 0,688t + 75,388$	0,74	$2,48 \cdot 10^{-3}$
Средние предприятия	$x = -2,690t + 51,011$	0,87	$1,01 \cdot 10^{-5}$
	$x = 0,199t^2 - 5,274t + 57,042$	0,91	$1,70 \cdot 10^{-5}$
Крупные предприятия	$x = -1,836t + 33,415$	0,85	$1,80 \cdot 10^{-5}$
	$x = -0,012t^2 - 1,685t + 33,063$	0,85	$1,80 \cdot 10^{-4}$

Зависимости для средних и крупных предприятий характеризуются высокой точностью зависимости ($R^2 \geq 0,85$), а для крупных еще и максимальной интенсивностью уменьшения затрат. Кроме приведенных в таблице критериев

оценивались также их адекватность и значимость коэффициентов. В приложении Ж приведены результаты оценки качества моделей.

Анализ данных о затратах труда на производство основных видов аграрной продукции микропредприятиями позволяет заключить, что «тенденции их изменчивости либо отсутствуют, либо обладают низкой точностью. Что касается остальных групп предприятий, то в рядах средних значений затрат труда на производство аграрной продукции имеют место значимые тренды. Причем с увеличением размера предприятий повышается и точность трендов» [47]. Следует обратить внимание на неравномерность затрат труда в различных категориях предприятий, их значительное расхождение между группами.

Кроме того, в каждой из выделенных групп есть предприятия, работающие с разной степенью стабильности. Наиболее стабильными в этом отношении являются крупные предприятия. Трудозатраты на производство основных видов продукции изменяются с различной скоростью и устойчивостью. Приведенные модели имеют недостаток – при анализе процесса за продолжительный промежуток времени затраты труда могут соответствовать не положительным значениям. Очевидно, что существует некий нижний предел, к которому стремится анализируемый показатель. Кроме того, развитие агротехнологий определяет тенденции снижения трудозатрат на производство продукции. Исходя из этих двух свойств анализируемого параметра, рассмотрена возможность применения нелинейных моделей, которые учитывают верхние и нижние оценки трудозатрат на производство аграрной продукции в выделенных группах предприятий и отражающих их постепенное снижение за многолетний период. Применение в моделировании затрат труда верхних и нижних оценок на основе эмпирических данных позволяет более адекватно отражать изменения параметра в рамках постоянно развивающихся агротехнологий и природно-экономических условий. При этом, «с одной стороны, минимальные значения затрат труда всегда будут превышать ноль, а, с другой – стремиться к нему по причине развития технико-технологических процессов» [45].

Переходя к описанию изменчивости трудозатрат на производство аграрной продукции отметим, что первым этапом было определение верхних и нижних оценок трудозатрат для различных групп предприятий. Рассмотрены наименьшие экстремальные (минимум и максимум) значения и их усредненные оценки. Анализ данных значений трудозатрат для различных предприятий показал, что для построения нелинейных моделей предпочтительнее использовать усредненные верхние и нижние оценки как наиболее устойчивые согласно их наименьшей изменчивости [45].

На втором этапе, исходя из средних минимальных и максимальных оценок рядов затрат труда и их значений, построены два вида зависимостей: гиперболические и экспоненциальные. Единицей многолетнего периода t является 1 год.

Гиперболическая зависимость с верхней и нижней оценками имеет вид

$$x = a_{min} / (a_0 + a_1 t), \quad (2.1)$$

где a_{min}/a_0 характеризует верхнюю оценку трудозатрат, a_1 – скорость роста.

Экспоненциальная зависимость может быть описана выражением

$$x = a_{max} e^{(-a_1 t)}, \quad (2.2)$$

где a_{max} верхняя оценка трудозатрат (максимальное значение за многолетний период).

Изменчивость затрат труда на производство зерновых показана на рисунке 2.3.

При этом следует отметить, что данные тренды приведены без учета экстремального климатического события (засуха), имевшего место в 2015 г. Значения трудозатрат в этом году аномальные, поэтому для оценки затрат труда необходим анализ ситуации с определением факторов и вероятности повторяемости подобных событий.

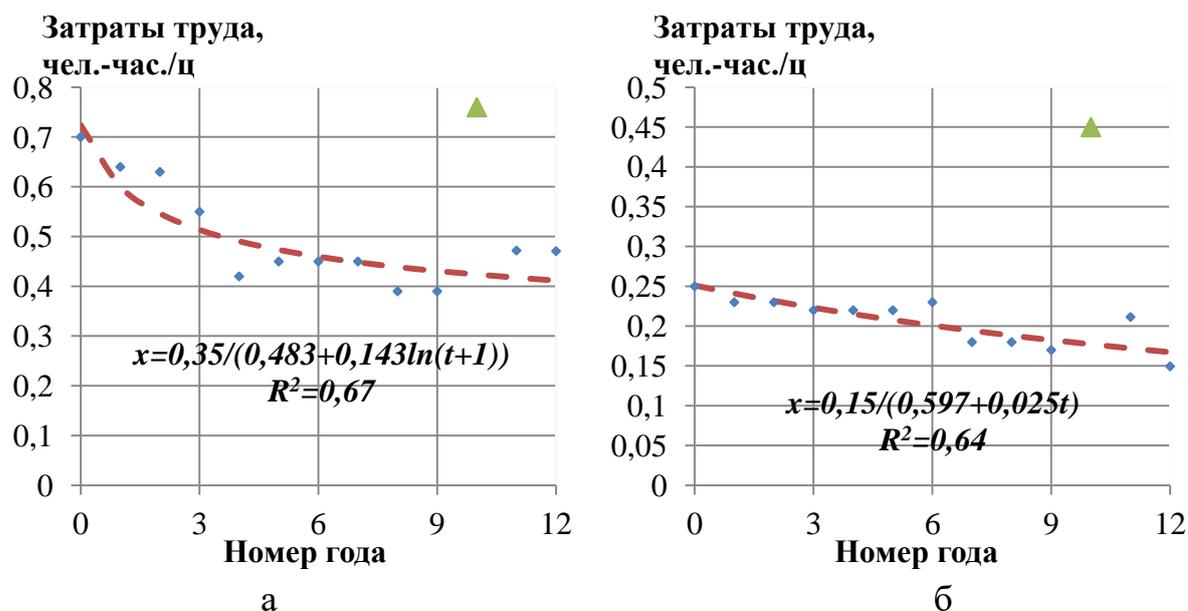


Рисунок 2.3 – Тренды снижения трудозатрат на производство зерновых крупными предприятиями ЗАО «Железнодорожник» (а) и СХПАО «Белореченское» (б) за 2006–2017 гг.

На рисунке 2.4 показана динамика снижения средних годовых затрат труда на выращивание зерновых предприятиями различного уровня агрегирования за 2006–2017 гг. с использованием гиперболических зависимостей, учитывающих верхние и нижние оценки.

Уравнения регрессии и параметры их оценки приведены в таблице 2.4. Кроме приведенных в таблице критериев оценивались также их адекватность и значимость коэффициентов. В приложении Ж приведены результаты оценки качества моделей.

Значимые тренды снижения средних годовых затрат труда наблюдаются на малых, средних и крупных предприятиях, для которых функции характеризуются коэффициентами детерминации (R^2) 0,78, 0,74 и 0,80 соответственно [47]. Для микропредприятий не выявлены значимые регрессионные зависимости.

В соответствии с рисунком 2.5 коэффициенты уменьшения трудозатрат на производство молока за рассматриваемый период в различных группах предприятий Иркутской области разные, как и диапазоны их изменения.

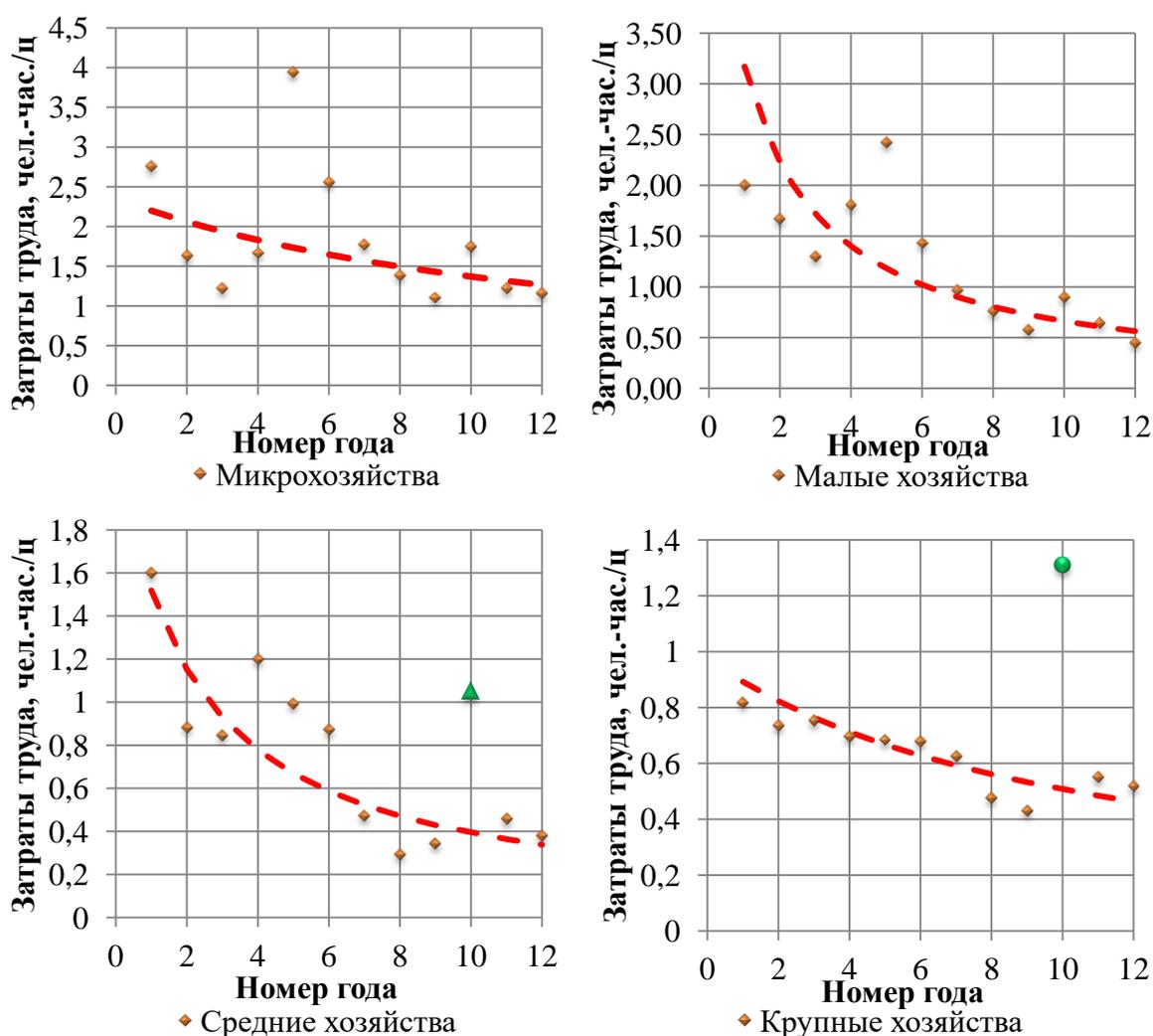


Рисунок 2.4 – Динамика изменчивости средних годовых затрат труда по группам предприятий на выращивание зерновых предприятиями Иркутской области за период 2006–2017 гг. с использованием моделей с оценками

Трудозатраты в микропредприятиях не имеют тенденции, зависимость случайная, трудозатраты ведут себя непредсказуемо. На крупных предприятиях трудозатраты за анализируемый период понижаются с меньшей скоростью, что объясняется высокой стабильностью их работы по данному направлению. Уравнения моделей по производству молока и их характеристики приведены в таблице 2.4. Кроме того, оценена значимость коэффициентов уравнений и проведена проверка остатка ряда на случайность (приложение Ж).

На основе данных таблицы 2.4, гиперболические зависимости, характеризующие затраты труда на производство за каждый год, удовлетворяют требованиям точности в соответствии с коэффициентом детерминации ($R^2 > 0,5$) за

исключением трудозатрат на возделывание кормовых культур и свинины. При этом коэффициенты детерминации для мяса КРС, молока, зерна и картофеля находятся не ниже 0,59. Помимо точности оценивалась значимость уравнений и их коэффициентов, а также согласно анализу случайности остатка ряда определена адекватность моделей [155]. Гипотеза об адекватности многолетних последовательностей затрат труда принята на основе критерия качества.

Обратим внимание на то, что из ряда затрат труда на производство зерновых для средних и крупных предприятий удалены данные за 2015 год, т.к. имела место засуха [107].

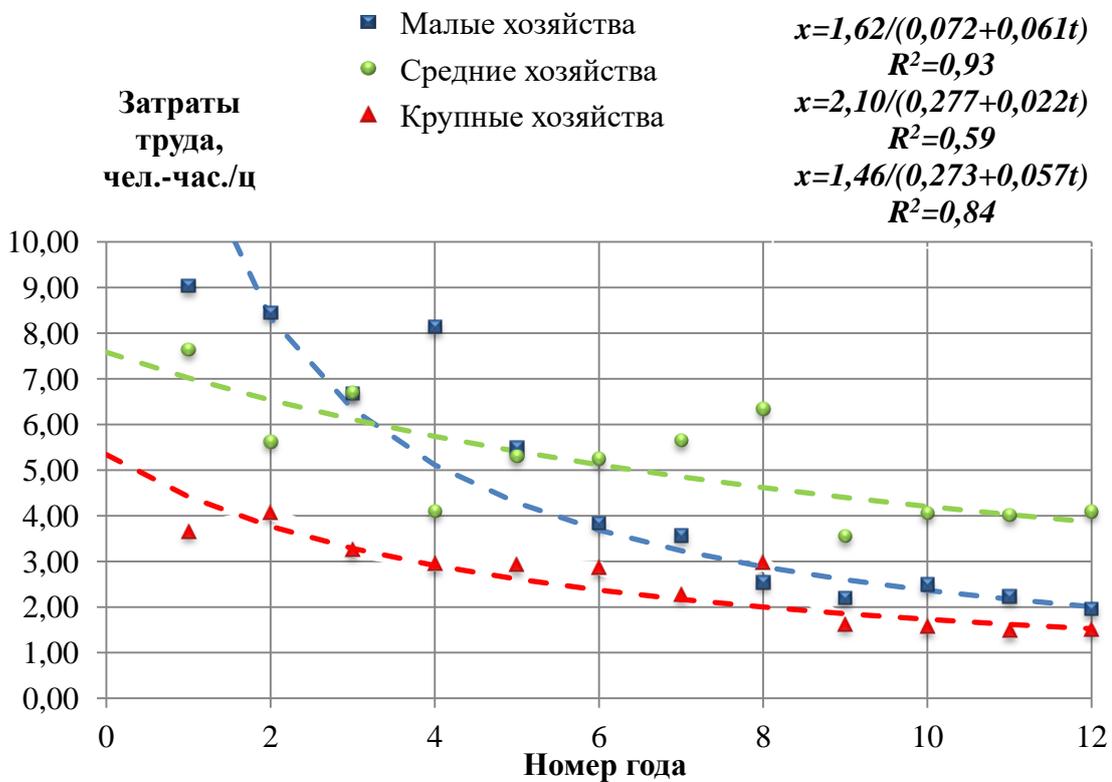


Рисунок 2.5 – Динамика изменчивости средних трудозатрат на производство молока в группах предприятий Иркутской области за период 2006–2017 гг. с использованием моделей с оценками

Что касается экспоненты, то она так же удовлетворительно описывает затраты труда на производство аграрной продукции. Экспоненциальные зависимости, характеризующие ряды трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции имеют более высокую точность, чем гиперболические. При этом с помощью экспоненциальной зависимости не выявлены тренды для

затрат труда на производство кормовых культур и свинины. Кроме того, убывание трудозатрат по экспоненциальной функции происходит с более высокой скоростью по сравнению с гиперболой и согласно ретроспективному прогнозу экспонента может использоваться при упреждении 1 год. «В этом отношении предпочтительнее гиперболическая зависимость, убывающая с меньшей скоростью и позволяющая прогнозировать с заблаговременностью 1–2 года в соответствии с ретроспективным прогнозом» [45].

Модели, пригодные для прогнозирования и результаты прогноза трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции различными группами предприятий приведены в приложении Ж.

Таблица 2.4 – Гиперболические и экспоненциальные модели многолетней изменчивости трудозатрат на производство мяса, молока, зерна и картофеля для различных групп предприятий за 2006–2017 гг.

Группа	Гипербола	R ²	Уровень значимости F-критерия Фишера	Экспонента	R ²	Уровень значимости F-критерия Фишера
Зерно						
Малые	$x=0,14/(0,026+0,019t)$	0,78	$6,00 \cdot 10^{-5}$	$x=4,12 \exp(-0,187t)$	0,94	$2,34 \cdot 10^{-8}$
Средние	$x=0,18/(0,081+0,038t)$	0,68	$9,17 \cdot 10^{-4}$	$x=2,34 \exp(-0,187t)$	0,93	$3,02 \cdot 10^{-7}$
Крупные	$x=0,22/(0,226+0,021t)$	0,72	$5,01 \cdot 10^{-4}$	$x=1,42 \exp(-0,113t)$	0,89	$2,25 \cdot 10^{-6}$
Картофель						
Малые	$x=0,34/(0,044+0,040t)$	0,72	$2,52 \cdot 10^{-4}$	$x=5,22 \exp(-0,198t)$	0,94	$2,06 \cdot 10^{-8}$
Молоко						
Малые	$x=1,62/(0,072+0,061t)$	0,83	$1,20 \cdot 10^{-7}$	$x=10,83 \exp(-0,153t)$	0,98	$2,84 \cdot 10^{-11}$
Средние	$x=2,10/(0,277+0,022t)$	0,59	$2,18 \cdot 10^{-3}$	$x=9,73 \exp(-0,089t)$	0,89	$9,04 \cdot 10^{-7}$
Крупные	$x=1,46/(0,273+0,057t)$	0,84	$1,06 \cdot 10^{-5}$	$x=4,07 \exp(-0,082t)$	0,95	$1,04 \cdot 10^{-8}$
Мясо КРС						
Малые	$x=8,27/(0,039+0,026t)$	0,77	$8,29 \cdot 10^{-5}$	$x=182,81 \exp(-0,193t)$	0,94	$3,97 \cdot 10^{-8}$
Средние	$x=11,97/(0,175+0,033t)$	0,88	$2,48 \cdot 10^{-6}$	$x=88,85 \exp(-0,140t)$	0,94	$2,23 \cdot 10^{-8}$
Крупные	$x=11,74/(0,248+0,056t)$	0,88	$2,68 \cdot 10^{-6}$	$x=47,92 \exp(-0,123t)$	0,96	$2,37 \cdot 10^{-9}$

Наибольший коэффициент детерминации (R^2) для рассматриваемых зависимостей в большинстве случаев наблюдается при построении моделей изменчивости трудозатрат на крупных предприятиях. На рисунке 2.6 приведен

ряд усредненных трудозатрат на производство мяса крупными предприятиями за 2006–2017 гг. и предложенные ранее зависимости (экспонента и гипербола).

Для описания затрат труда предложены гиперболические и экспоненциальные модели с усредненными верхними и нижними значениями, из которых согласно оценке качества моделей предпочтительнее первые при более высоких коэффициентах детерминации вторых. В большинстве случаев гиперболические зависимости адекватны и пригодны для прогнозирования, в отличие от экспоненциальных.

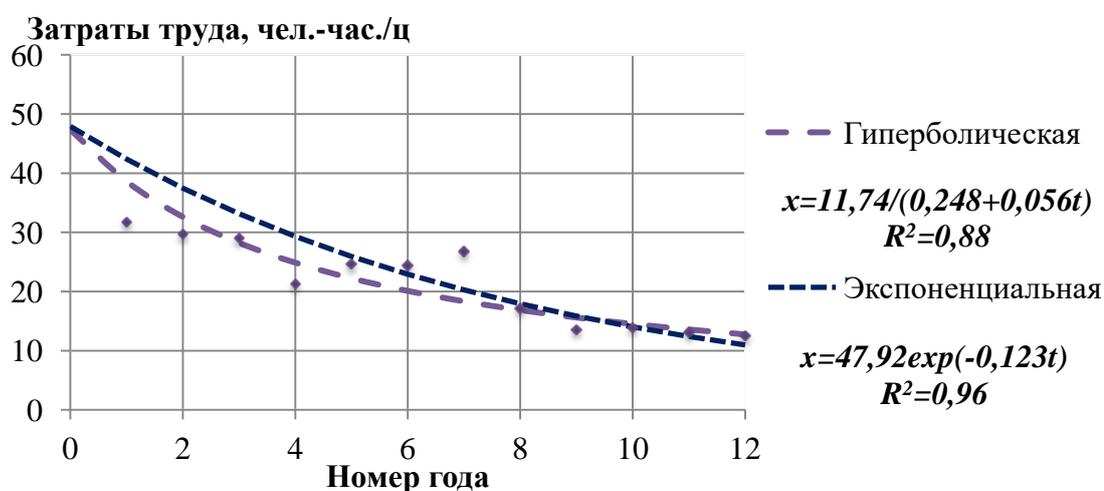


Рисунок 2.6 – Экспоненциальный и гиперболический тренд изменчивости усредненных трудозатрат на производство мяса крупными предприятиями за 2006–2017 гг.

Значимые тенденции изменчивости затрат труда на производство аграрной продукции позволяют в планировании применять задачи параметрического программирования со значимыми трендами (1.36)–(1.45). При этом в ходе реализации задач для отдельных предприятий при выявлении тенденций большое значение уделяется особенностям производства, которые связаны с затратами труда косвенно или непосредственно [45].

Задачи могут применяться как для групп предприятий, так и для отдельных предприятий.

Таким образом, «на основе особенностей изменения трудозатрат на производство аграрной продукции для предприятий различного уровня агрегирования предлагаются нелинейные модели прогнозирования (гипербола и

экспонента) с учетом верхних и нижних усредненных оценок. Согласно анализу качества моделей предпочтительнее гиперболические функции, отличающиеся меньшими интервальными значениями прогноза, адекватностью отражения эмпирических данных, пригодностью для прогнозирования. Между тем возможности использования той или иной функции обусловлены особенностями производства основных видов аграрной продукции на предприятии или в рамках групп предприятий» [45].

Значения коэффициентов детерминации в некоторых случаях для малых предприятий при использовании нелинейных зависимостей выше, чем для средних и крупных предприятий.

При этом использование моделей с верхними и нижними оценками даже при одинаковом или близком значении коэффициента детерминации предпочтительнее линейного тренда в силу чувствительности первых к изменениям в ряду данных. Линейная модель имеет слишком высокую скорость снижения трудозатрат, а модель с оценками имеет тенденцию постепенного замедления снижения трудозатрат на производство продукции различными группами предприятий. При этом значения коэффициентов детерминации у моделей с оценками, как правило, выше.

Предложенные модели оценки трудозатрат на производство аграрной продукции для групп предприятий с использованием нелинейных моделей с верхними и нижними оценками применимы как к группам предприятий, так и к отдельным предприятиям, позволяя для оптимизации трудовых ресурсов применять задачу параметрического программирования [45, 47].

Полученные результаты позволяют при планировании объемов производства продукции с учетом данных прогнозирования затрат труда и использовать модели параметрического программирования, применение которых предпочтительнее по сравнению, например, с моделью с интервальными параметрами.

Наличие значимых функций позволяет использовать параметрические задачи математического программирования с учетом интервальных прогнозов для

минимизации затрат труда [75]. «Подобные модели приемлемы для малых, средних и крупных предприятий. Для микропредприятий адекватной является оптимизационная задача в условиях неопределенности» [45, 47, 49].

В разделе 1.3 приведена модель минимизации трудовых затрат на производство аграрной продукции (1.36)–(1.45), которая представляет собой задачу линейного программирования с усредненными коэффициентами при неизвестных и в ограничениях целевой функции и правых частях ограничений.

Между тем во многих работах [45, 47, 52 и др.] показано, что часть коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий может быть описана с помощью трендов, авторегрессионных зависимостей и факторных выражений с учетом времени.

На основе полученных линейных и нелинейных трендов, описывающих изменчивость трудовых затрат на производство сельскохозяйственной продукции в группах сельскохозяйственных предприятий, целевая функция (1.36), характеризующая минимизацию затрат труда, может быть записана в следующей редакции:

$$\sum_{s \in S} c_s(t)x_s + \sum_{h \in H} c_h(t)x_h \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

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 .

При этом ограничения (1.37)–(1.45) остаются неизменными и характеризуют условия ограниченности производственных ресурсов, размеров отраслей растениеводства и животноводства, объемов производства конечной аграрной продукции, в увязке растениеводческой и животноводческой отраслей, структуре производства кормов и неотрицательности переменных.

Между тем, в некоторых работах показано, что урожайность сельскохозяйственных культур характеризуется трендами или ее изменчивость

связана со значимой автокорреляцией. В этом случае неравенства (1.38) и (1.41) могут быть записаны следующим образом:

$$\sum_{s_1 \in S_1} p_{js_1}(t)x_{s_1} + \sum_{s_2 \in S_2} p_{js_2}x_{s_2} \geq x_j \quad (j \in J), \quad (2.4)$$

$$\sum_{s_1 \in S_1} v_{qs_1}(t)x_{s_1} + \sum_{s_2 \in S_2} v_{qs_2}x_{s_2} \geq V_q \quad (q \in Q). \quad (2.5)$$

В этих ограничениях s_1 и s_2 характеризуют вид культуры, выход продукции, которой зависит от параметра t и не связан с ним.

Согласно полученным адекватным выражениям, характеризующим изменчивость по годам затрат труда на производство аграрной продукции для разных групп предприятий (малые, средние, крупные) предлагается описывать $c_s(t)$ в виде зависимостей:

$$c_s(t) = a_{\max s} e^{-a_{0s}t}, \quad (2.6)$$

$$c_s(t) = c'_s + c''_s t, \quad (2.7)$$

$$c_s(t) = \frac{a_{\min s}}{c'_s + c''_s t}, \quad (2.8)$$

где a_{0s} – свободный член, $a_{\max s}$ и $a_{\min s}$ – верхние и нижние оценки, c'_s и c''_s – коэффициенты выражения.

В работах [44, 45, 48, 61] показано, что параметры p_{js_1} и v_{qs_1} могут быть описаны в виде линейных и нелинейных трендов или авторегрессионных зависимостей. Приведем наиболее часто встречающиеся модели для описания этих параметров:

$$c_s(t) = a_1 c_s(t-1) + a_0, \quad (2.9)$$

$$p_{s_1}(t) = p'_{s_1} + p''_{s_1} t, \quad (2.10)$$

$$p_{s_1}(t) = a_{0s_1} + a_{1s_1} p_{s_1}(t-1), \quad (2.11)$$

$$v_{s_1}(t) = v'_{s_1} + v''_{s_1} t, \quad (2.12)$$

$$v_{s_1}(t) = a_{0s_1} + a_{1s_1} v_{s_1}(t-1). \quad (2.13)$$

Формулы (2.6)–(2.9) справедливы и для описания трудозатрат на производство животноводческой продукции $c_h(t)$.

Помимо использования приведенных зависимостей для решения задач по данным групп хозяйств, они могут применяться для описания трудозатрат отдельных предприятий.

Так как приведенные зависимости являются регрессионными, то при прогнозировании этих параметров необходимо учитывать точечные и интервальные оценки.

Поэтому решением задачи параметрического программирования являются оптимальные планы, связанные с верхними и нижними значениями интервалов прогнозирования и точечным прогнозом.

В заключении отметим, что в работе [47] на основе систематизированных данных по группам и отдельным предприятиям за многолетний период приведен статистический анализ трудозатрат на производство аграрной продукции. Выявлены тенденции уменьшения трудозатрат малых, средних и крупных предприятий. Рассеяние показателей становится меньше при увеличении размеров предприятий или их групп. При этом на микропредприятиях трудозатраты изменяются случайным образом.

Полученные результаты значимы для оценки и нормирования затрат труда и повышения эффективности управления аграрным производством [47].

Общий анализ данных о трудозатратах в аграрном производстве позволяет заключить, что тренды средних значений на микропредприятиях ведут себя очень нестабильно, характеризуясь непредсказуемостью. На малых, средних и крупных предприятиях наблюдаются тренды снижения затрат труда, имеющие удовлетворительную точность. Причем с увеличением размера предприятий повышается точность тенденций снижения затрат труда, а следовательно – возрастания производительности труда. Разные группы предприятий обладают различной интенсивностью падения затрат труда на производство аграрной продукции.

Наличие качественных моделей изменчивости трудозатрат на производство сельскохозяйственной продукции позволяет оптимизировать трудовые затраты, используя задачу параметрического программирования. Для описания коэффициентов при неизвестных целевой функции предложены следующие модели: линейная, гипербола с верхними и нижними оценками и экспонента.

Задачи параметрического программирования в рассмотренном варианте предлагается использовать для малых, средних и крупных предприятий.

2.2 Модель параметрического программирования оптимизации трудозатрат с интервальными и случайными параметрами

В задачах оптимизации одним из направлений является применение детерминированных моделей (1.36)–(1.45). Вся входная информация в них является полностью определяемой.

При этом большинство ситуаций в аграрном производстве не может быть описано при помощи только детерминированных моделей.

Трудозатраты могут быть взяты как прогностические величины, уравнения которых могут быть описаны с помощью тренда. При этом функция может быть как линейной, так и нелинейной. Кроме того, изменчивость трудозатрат может быть описана с помощью законов распределения вероятностей. При невозможности описания трудовых ресурсов законом распределения вероятностей параметр можно рассматривать как интервальную величину, ограниченную верхними и нижними оценками.

Рассматривают случаи, в которых часть коэффициентов при неизвестных критерия оптимальности и в левых частях ограничений, а также в правых частях условий может быть описана с помощью аналитических выражений, а другая – представляет собой неопределенные значения, характеризуемые законами распределения вероятностей или верхними и нижними оценками.

Рассмотрим две группы моделей:

Первая группа включает в себя коэффициенты при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий, которые могут быть описаны в виде аналитических выражений или интервальных величин. Во второй группе моделей используются вероятностные величины, а некоторые коэффициенты при неизвестных в целевой функции и ограничениях представляют собой регрессионные зависимости, связанные с параметром или параметрами.

Модели с независимыми параметрами. Модели, в которых затраты труда представляют собой неопределенные параметры в виде интервальных оценок, а также представлять собой аналитические выражения могут быть записаны с учетом того, что некоторые коэффициенты при неизвестных целевой функции зависят от параметра (t) или параметров ($t_k, k \in K$). В этом случае целевая функция (1.36) преобразуется в выражение:

$$\sum_{s \in S} c_s(t) x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{c}_\varphi x_\varphi + \sum_{h \in H} c_h(t) x_h \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

где \tilde{c}_φ – приведенные затраты труда, изменяющиеся в пределах нижних и верхних оценок $\underline{\tilde{c}}_\varphi \leq \tilde{c}_\varphi \leq \overline{\tilde{c}}_\varphi$, $c_s(t)$ и $c_h(t)$ – приведенные затраты труда на производство растениеводческой s и животноводческой h продукции, $t[t_n, t_g]$, t_n, t_g – начальное и конечное значение параметра t .

Поскольку урожайность культур можно представить в виде интервальной оценки, то ограничения (1.37) и (1.41) для этой задачи можно записать следующим образом:

$$\sum_{s \in S} w_{ls} x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{w}_{l\varphi} x_\varphi + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (2.15)$$

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t) x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} \tilde{v}_{q\varphi} x_\varphi \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (2.16)$$

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 $\underline{\tilde{v}}_{q\varphi} \leq \tilde{v}_{q\varphi} \leq \overline{\tilde{v}}_{q\varphi}$.

Получают оптимальные решения, среди которых, как правило, выделяют верхние, нижние и медианные значения целевой функции и соответствующие им оптимальные планы. При этом 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.

Другими словами, если параметры модели могут принимать случайные значения, то целевая функция может быть записана в следующей редакции:

$$\sum_{s \in S} c_s(t)x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} c_\varphi^p x_\varphi + \sum_{h \in H} c_h(t)x_h \rightarrow \min, \quad (2.17)$$

где c_φ^p - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции, подчиняющиеся законам распределения вероятностей p , $t[t_\varphi, t_\beta]$, t_φ , t_β - начальное и конечное значение параметра t . Данная задача оптимизации трудозатрат является параметрической задачей линейного программирования, в которой критерий оптимальности зависит от времени и вероятности.

При этом ограничение, касающееся размеров отрасли растениеводства (1.39), будет выглядеть следующим образом:

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s / v_s^p \leq \overline{n}_r \quad (r \in R), \quad (2.18)$$

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

Поскольку урожайность культур может представлять собой случайную величину, то ограничения (1.37) и (1.41) для этой задачи можно записать следующим образом:

$$\sum_{s \in S} w_{ls} x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} w_{l\varphi}^p x_\varphi + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (2.19)$$

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t)x_s + \sum_{\varphi \in \Phi} v_{q\varphi}^p x_\varphi \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (2.20)$$

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 . Символ p характеризует вероятность расхода ресурса и выхода товарной продукции.

В результате решения подобных задач получают распределения значений целевой функции, связанных с вероятностями и соответствующие им оптимальные планы f^{p*} .

Согласно собственным исследованиям [44, 48 и др.] и работам других авторов [24, 53, 57, 80, 83, 96 и др.] для описания климатических параметров, трудозатрат на производство аграрной продукции и урожайности сельскохозяйственных культур предложено использовать следующие законы распределения вероятностей, приведенные в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Законы распределения вероятностей для описания параметров производства

Закон распределения	Плотность распределения
Нормальный	$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$
Логнормальный	$p(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln x}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln \bar{x})^2}{2\sigma_{\ln x}^2}}$
Гамма	$p(x, \beta, \alpha) = \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)}$
Пирсона III типа	$p(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)(x_0 - x_{\min})} \left(\frac{x - x_{\min}}{x_0 - x_{\min}}\right)^{\alpha-1} e^{-\beta(x - x_{\min})/(x_0 - x_{\min})}$
Трехпараметрическое степенное гамма-распределение	$p(x) = \left[\frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)}\right]^{\alpha/\beta} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta x_0} \left(\frac{x}{x_0}\right)^{\alpha/\beta-1} e^{-\left[\frac{x}{x_0} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)}\right]^{1/\beta}}$

Примечание: x_0 – среднее значение, α, a, b – параметры распределения, $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция (интеграл Эйлера II рода).

При решении подобных задач эффективным методом многократного моделирования является метод Монте-Карло.

Модели с зависимыми параметрами. При решении параметрических задач анализ особенностей изменчивости коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, правых частях условий, а также связей между ними показывает, что имеют место два случая. В первом из них коэффициенты при неизвестных критерия оптимальности и левых частях ограничений, а также правые части условий являются независимыми. Во втором случае между коэффициентами при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий могут наблюдаться значимые регрессионные зависимости.

В частности, в некоторых случаях определены связи между урожайностью сельскохозяйственных культур и трудозатратами на производство аграрной продукции. Эти связи могут быть нелинейными и линейными. В работе [44] показано, что урожайность сельскохозяйственных культур v_a зависит от затрат труда c_a :

$$v_a = \mu_0 + \mu_1 c_a , \quad (2.21)$$

где μ_0 , μ_1 – коэффициенты уравнения регрессии, c_a – затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции.

Как и для моделей с независимыми коэффициентами при неизвестных критерия оптимальности и в левых частях ограничений, а также в правых частях условий полученные решения зависят от параметров модели. Однако число коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий, влияющих на решение, уменьшается.

2.3 Оптимизация трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий

2.3.1 Стохастическая модель оптимизации трудозатрат с учетом неблагоприятных климатических условий

В предложенной модели минимизации трудозатрат на производство аграрной продукции в условиях проявления неблагоприятных климатических событий задача линейного программирования связана с агрометеорологическими факторами, влияющими на целевую функцию и ограничения, которые представляют собой случайные величины, подчиняющиеся законам распределения вероятностей. В качестве агрометеорологических параметров использованы осадки и температуры воздуха по месяцам за вегетационный период, а так же урожайность сельскохозяйственных культур. Модель применима при реализации задач оптимизации затрат труда в аграрном производстве при проявлении сильных засух, ливней, дождевых паводков, весенних половодий и других неблагоприятных климатических событий.

Нередко возникают ситуации, когда предприятия агропромышленного комплекса Иркутской области несут экономические потери, вызванные влиянием экстремальных климатических явлений и загрязнений окружающей среды [41, 74, 81 и др.]. Оптимизация производства аграрной продукции в условиях неблагоприятных климатических и техногенных событий имеет значение для смягчения убытков, повышения эффективности планирования в условиях рисков.

Разработана модель минимизации трудозатрат в условиях влияния неблагоприятных климатических событий на производство аграрной продукции на примере засухи 2015 г., наблюдавшейся на территории Иркутской области.

Для оптимизации производства аграрной продукции со случайными параметрами применены методы математического программирования и статистической обработки данных.

Согласно анализу изменчивости трудозатрат на производство аграрной продукции в рядах параметра выявлены значимые тренды, описываемые в виде гиперболических выражений с верхними и нижними оценками [45]. Однако устойчивость регрессионных зависимостей нарушается под влиянием внешних факторов. По этой причине при проявлении неблагоприятного климатического явления предлагается выделять в отдельную группу задачу математического программирования с учетом экстремального события. Подобная модель примет следующий вид.

Критерием оптимальности является минимум затрат труда:

$$\sum_{s \in S} \psi_s^p x_s + \sum_{h \in H} c_h x_h \rightarrow \min, \quad (2.22)$$

где x_s , x_h - искомые переменные объемы производства растениеводческой продукции s и животноводческой продукции h ; ψ_s^p - затраты труда на единицу производимой растениеводческой продукции в условиях проявления климатического события, соответствующие вероятности p ; c_h - затраты труда на единицу животноводческой продукции h ;

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов:

$$\sum_{s \in S} \omega_{ls}^p x_s + \sum_{h \in H} w_{lh} x_h \leq W_l \quad (l \in L), \quad (2.23)$$

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 ;

использования в животноводстве побочной продукции растениеводства:

$$\sum_{s \in S} \varphi_{js}^p x_s \geq x_j \quad (j \in J), \quad (2.24)$$

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;

ограниченности размера отраслей, в том числе:

растениеводства:

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{n}_r \quad (r \in R), \quad (2.25)$$

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:

$$x_h = \lambda_{hh'} x_{h'}, \quad (h, h' \in H), \quad (2.26)$$

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

производства конечной продукции, в том числе:

растениеводства:

$$\sum_{s \in S} \phi_{qs}^p x_s \geq V_q \quad (q \in Q), \quad (2.27)$$

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 ;

животноводства:

$$\sum_{h \in H} \phi_{q_1 h} x_h \geq V_{q_1} \quad (q_1 \in Q_1), \quad (2.28)$$

где V_{q_1} - гарантированный объем производства продукции вида q_1 ; $\phi_{q_1 h}$ - выход единицы животноводческой продукции вида q_1 ;

увязки растениеводства с животноводством, в том числе:

балансирования рационов животных по элементам питания:

$$\sum_{s \in S} a_{is} u_s x_s + \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq \sum_{h \in H} b_{ih} x_h \quad (i \in I), \quad (2.29)$$

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:

$$\sum_{h \in H} \underline{d}_{kh} x_h \leq \sum_{s \in S_k} a_{is} u_s x_s + \sum_{j \in J_k} a_{ij} x_j \leq \sum_{h \in H} \bar{d}_{kh} x_h \quad (k \in K), \quad (2.30)$$

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;

неотрицательности переменных:

$$x_s, x_h \geq 0. \quad (2.31)$$

Согласно модели (2.22) – (2.31) затраты труда на производство единицы объема аграрной продукции представляют собой вероятностные величины в случае формирования неблагоприятного климатического события. В частности, по данным о трудозатратах в ЗАО «Иркутские семена» в засушливый 2015 г. затраты труда на производство зерна и семян многолетних трав в шесть раз превышали средние значения, полученные за период 2006–2017 гг.

В работе [74] получены статистические вероятности проявления сильных засух в районах Иркутской области. Показано, что повторяемость засухи, подобной 2015 г., в Иркутском районе наблюдается примерно раз в 17 лет. При этом вероятность затрат труда на получение зерна в этом году для предприятия ЗАО «Иркутские семена» соответствовала 0,0212. Выше этого значения оказалась вероятность производства семян многолетних трав – 0,0321. Отметим, что полученные вероятности трудозатрат обладают невысокой точностью ввиду незначительных по количеству значений выборок, составивших 10–12, и их высокой вариации. Для оценки вероятности трудозатрат на производство зерна использован трехпараметрический степенной закон распределения вероятностей,

а для трудозатрат семян многолетних трав – гамма-распределение [37]. Добавим к этому асинхронность рядов трудозатрат на производство зерна, зернобобовых, картофеля и семян многолетних трав. По этой причине рассматриваемая засуха повлияла, прежде всего, на объемы зерновых культур и производство семян многолетних трав. Затраты труда на получения картофеля и зернобобовых оказались близкими к средним значениям.

В оптимизационной модели (2.22)–(2.31) с учетом особенностей аграрного производства в ЗАО «Иркутские семена» в качестве вероятностных величин использованы трудозатраты на производство зерновых культур ψ_1^p .

Для оценки трудозатрат на получения семян многолетних трав ψ_2^p можно использовать регрессионное выражение $\psi_2^p = 1.616 + 13.05\psi_1^p$, которое значимо по критерию Фишера и имеет значимый коэффициент при неизвестном по t-статистике Стьюдента.

Оптимизационная модель позволяет определять различные варианты оптимальных решений в зависимости от вероятностной изменчивости производственно-экономических параметров, зависящих от климатических событий. Полученный вариант модели можно использовать в системах поддержки принятия решения.

Таким образом, неблагоприятных климатические условия нарушают тенденции изменчивости производственно-экономических параметров, ухудшая экономическое состояние товаропроизводителя. Для оценки деятельности аграрного предприятия в таких условиях предложена модель оптимизации трудозатрат, позволяющая получать оптимальные планы в зависимости от степени вероятностной изменчивости трудозатрат и других коэффициентов при неизвестных, входящих в левые части ограничений.

2.3.2 Статистическая оценка трудозатрат в условиях проявления маловероятных климатических событий

Анализ многолетних рядов трудозатрат на производство различных видов аграрной продукции показывает, что тренды уменьшения значений этого параметра, описываемые экспонентой или гиперболой с верхними и нижними оценками, могут нарушаться в отдельные годы ввиду неблагоприятных климатических условий [43, 45, 52, 120]. Таким примером может быть засуха 2015 г., в результате которой потери зерновых культур составили более 30 % от планового показателя. Между тем согласно плану производства аграрной продукции, разработанному министерством сельского хозяйства Иркутской области, в 2020 г. товаропроизводители должны получить 1 млн. т зерна.

Приведенный пример показывает необходимость учета ущербов, которые могут достигать значительных размеров даже при наличии высоких технологий, для понимания уровня рисков, связанных с деятельностью аграрного товаропроизводителя.

В данном разделе проведена вероятностная оценка климатических особенностей условий неблагоприятных лет, влияющих на получение товаропроизводителем аграрной продукции, на примере засушливого 2015 г.

Для достижения цели решались следующие задачи: 1) сбор данных об осадках и температурах по месяцам за многолетний период; 2) оценка статистических свойств многолетних рядов параметров тепла и увлажнения для определения вероятности проявления климатической ситуации 2015 г.

Для оценки факторов, способствовавших формированию аномальных явлений на примере засушливого явления 2015 г., проанализирована многолетняя изменчивость осадков и температур по месяцам за вегетационный период и оценены вероятности значений параметров тепла и увлажнения в аномальный год. Для этого использованы суточные данные Иркутска по осадкам и температурам за

1980 – 2017 гг. В качестве пункта наблюдений выбран областной центр ввиду значительных ущербов, нанесенных сельскому хозяйству на юге территории.

Помимо гидрометеорологических данных для статистической обработки использованы материалы о трудозатратах на производство основных видов аграрной продукции за 2006–2017 гг. Проанализировано более 70 аграрных предприятий, отличающихся по численности работников.

По данным суточных осадков и температур предварительно сформированы ряды этих параметров по месяцам, начиная с апреля и заканчивая сентябрем. Кроме многолетних рядов осадков и температур по месяцам, рассмотрены последовательности сумм параметров тепла и увлажнения за шесть месяцев (апрель–сентябрь).

При оценке статистических свойств многолетних рядов осадков и температур применены методы корреляционно-регрессионного анализа и построения законов распределения вероятностей с оценкой статистических параметров методом моментов [12, 16, 34, 155 и др.].

Выбор климатических параметров обусловлен предварительным анализом влияния факторов на затраты труда при производстве аграрной продукции [52].

Число гидрометеорологических параметров и их сочетания, влияющих на трудозатраты, значительно, поэтому рассмотрению подвержены те из них, которые согласно факторному анализу в наибольшей степени влияют на результирующий признак – температуры и осадки в начальные месяцы и в течение всего теплого периода.

По данным Иркутска за 1980–2017 гг. осадки за теплый период, включающий апрель – сентябрь, имеют следующие свойства.

В динамических рядах не выявлено значимых трендов. Отсутствуют автокорреляционные связи, за исключением сумм осадков за теплый период (здесь первый коэффициент автокорреляции является значимым и составил 0,33). Ряды параметра увлажнения каждого месяца являются случайными, а выборка осадков за теплый период представляет собой слабо связную последовательность. Наибольшее среднее значение осадков за многолетний период наблюдается в

июле, а наименьшее – в апреле. Четвертый месяц года характеризуется наибольшей вариацией с коэффициентом $c_v=0,79$. Для осадков других месяцев этот параметр колеблется от 0,44 до 0,55. Наименьшая вариация соответствует ряду осадков за теплый период – 0,23 (таблица 2.6).

Поскольку ряды сумм осадков по месяцам и за апрель–сентябрь обладают асимметрией $c_s>0$, для их описания предложено использовать распределение Пирсона III типа справедливое для разных соотношений коэффициента асимметрии и вариации [123]. Из таблицы 2.6 следует, что соотношение c_s/c_v изменяется от 0,48 до 2,92.

Таблица 2.6 – Статистические параметры рядов сумм осадков по месяцам и апрель–сентябрь по данным Иркутска за 1980–2017 гг.

№ п/п	Месяц	Среднее, мм	c_v	c_s/c_v
1	Апрель	19,8	0,79	2,51
2	Май	36,2	0,48	0,48
3	Июнь	75,6	0,55	2,38
4	Июль	108,2	0,44	1,04
5	Август	87,7	0,54	1,90
6	Сентябрь	50,6	0,49	2,57
7	Апрель–сентябрь	378,1	0,23	2,92

На рисунке 2.7 приведен пример построенного распределения Пирсона III типа для относительных сумм осадков за шесть месяцев, начиная с апреля и заканчивая сентябрем. Соотношение o/o_c характеризуется делением ежегодных осадков за указанный период на среднее значение за многолетие.

Соответствие аналитический значений функции распределения p_{II} удовлетворительно согласуется с эмпирическими данными p_e , согласно критерию Колмогорова ($\lambda < \lambda_T$). Эмпирическое значение $\lambda=1,27$, а табличное – $\lambda_T=1,35$ для уровня значимости 0,05 и количества значений ряда 37.

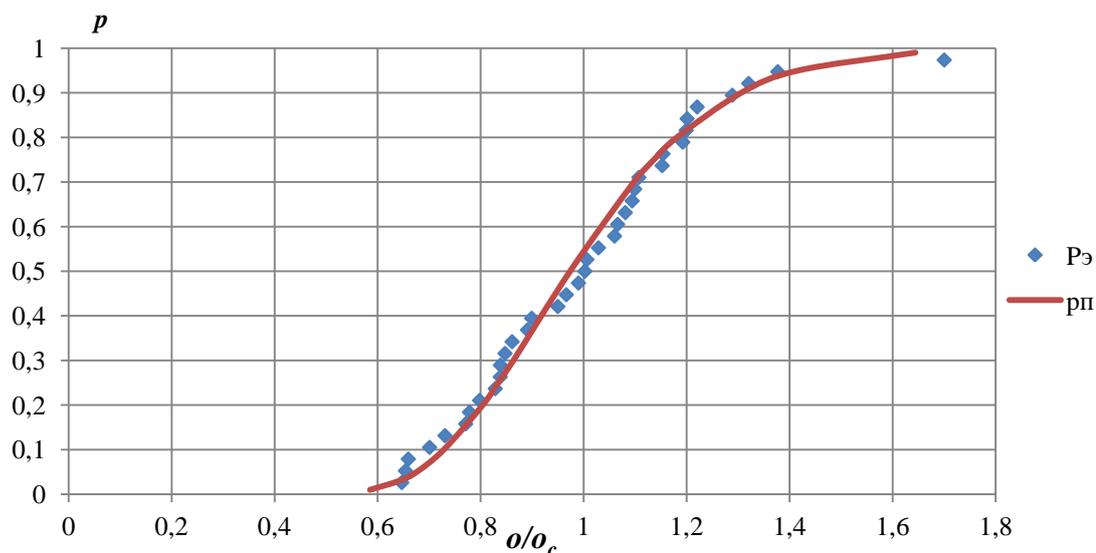


Рисунок 2.7 – Распределение Пирсона III типа для модульных коэффициентов осадков за апрель–сентябрь (o/o_c) по данным Иркутска за 1980–2017 гг.

Согласно выбранному закону оценены вероятности проявления осадков аномального года. В апреле и июне имели место низкие осадки с вероятностями проявления 0,268 и 0,216, а в мае осадки несколько превышали норму, соответствуя вероятности 0,278 по функции распределения. Отметим, что за теплый период 2015 года выпало малое количество осадков, повторяемость которых оценена проявлением 1 раз в 10 лет.

Низкое количество осадков сочеталось с высокими значениями температур за теплый период, которые превышали норму. Регрессионный анализ рядов температур воздуха по месяцам за многолетний период показал наличие значимых трендов с невысокими коэффициентами детерминации R^2 . Наибольшее значение этого показателя получено для сумм температур за апрель–сентябрь (рисунок 2.8).

Полученные результаты соответствуют выводам о наличии трендов параметров тепла на юге Иркутской области, приведенных в работах [16, 152 и др.].

Если рассматривать устойчивость трендов по месяцам по параметру R^2 , то здесь выделяется тренд месячных температур июля (0,40). В другие месяцы он колеблется от 0,12 до 0,17. Исходя из рисунка 2.8, каждые 10 лет суммы месячных

температур за теплый период на юге Иркутской области увеличиваются на $3,4^{\circ}$. Отметим, что рассматриваемый параметр тепла в 2015 г. по данным Иркутска оказался наибольшим за 1980–2017 гг. достигнув значения $83,3^{\circ}$. Вероятность такого значения согласно нормальному закону распределения с учетом первого коэффициента автокорреляции [123], равного 0,47, составила 0,0253.

Засушливость теплого периода года сказалась на урожайности сельскохозяйственных культур. В соответствие с рассчитанными средними урожайностями пшеницы за пять лет, предшествующих году страхования, определена страховая стоимость урожая пшеницы, вычислены размеры утраты (гибели) урожая пшеницы, овса и ячменя, и получена доля погибшего урожая для Иркутского района.

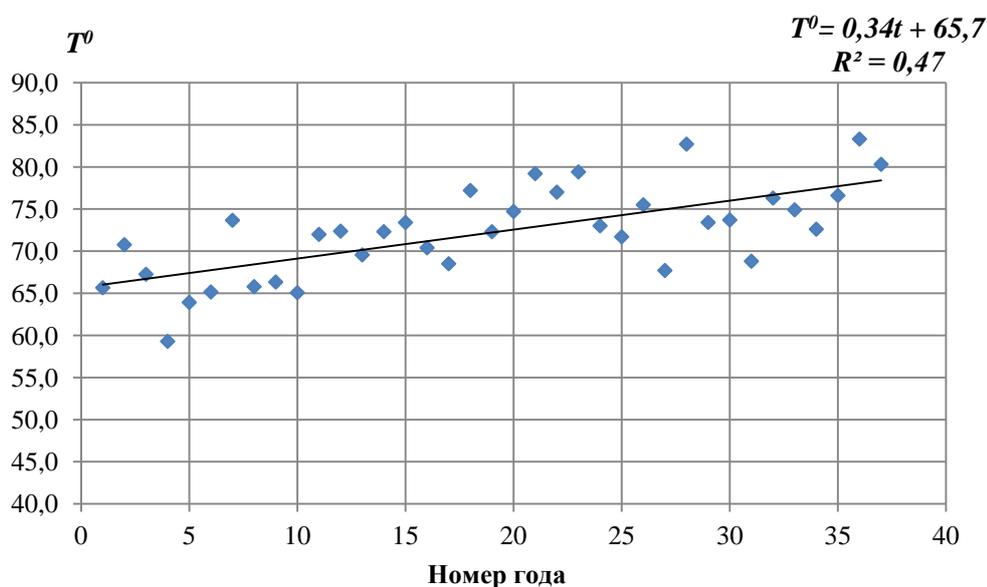


Рисунок 2.8 – Тренд суммарных средних месячных температур за апрель–сентябрь по данным Иркутска за 1980–2017 гг.

Так, по приказу Минсельхоза России от 16 ноября 2017 г. № 578 «Об утверждении методик определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая сельскохозяйственной культуры и посадок многолетних насаждений и методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) сельскохозяйственных животных» доля погибшего урожая пшеницы в Иркутском районе составила 42,2 %, ячменя – 64,3 %, овса – 48,7 %. На основе анализа урожайности пшеницы в работе [74] показано, что вероятность

проявления засухи 2015 г. соответствует 0,0583. В дополнение к засухе в этом году наблюдались ливни, которые превышали нормы, причиняя ущербы почвенному покрову.

Таким образом, аномальные значения трудозатрат на производство аграрной продукции связаны с природно-климатическими условиями года. Проанализированы многолетние температуры воздуха и суммы осадков за теплый период, включая апрель – сентябрь. Осадки подчиняются закону распределения Пирсона III типа, а температуры – нормальному вероятностному закону. Во втором случае для получения вероятностей значений температуры необходимо предварительно устранить смещенность коэффициентов вариации, обусловленную значимыми коэффициентами автокорреляции. Определены вероятности значений осадков и температур воздуха за теплый период 2015 г., которые соответствуют 0,10 и 0,025. Другими словами, в этот засушливый год повторяемость низких осадков составила 1 раз в 10 лет, а высоких температур 1 раз в 40 лет. При этом подобные условия наблюдаются на фоне тренда повышения температур воздуха за теплый период в Иркутском районе.

2.4 Модели параметрического программирования с факторными зависимостями

Среди моделей обеспечения трудозатратами выделены факторные модели, характеризующие связи результативного признака с факторами, влияющими на него. Другими словами, факторные модели описывают поиск зависимости результативного признака от факторов [52].

Такие модели могут быть линейными и нелинейными, однофакторными и многофакторными, могут включать системы уравнений или рекурсивные системы [155].

Факторные модели могут включать различное количество переменных величин и соответствующих им параметров. Простейшими видами факторных моделей являются однофакторные, в которых фактором является какой-либо временной параметр. Здесь анализ и прогнозирование показателей зависят от хронологического временного ряда – выявляются тенденции, описывающие тенденции изменений динамических рядов.

Согласно анализу литературы регрессионные выражения, при помощи которых могут быть описаны факторные зависимости, являются значимыми для описания и прогнозирования производственно-экономических параметров аграрного производства [15, 18, 40, 52, 53, 96, 99, 112, 117, 129, 143 и др.].

В работе [15] реализованы линейные и нелинейные уравнения регрессии для прогнозирования даты посева зерна. Уравнения регрессии описывают зависимость сроков проведения технологических операций от сумм температур воздуха и сумм осадков. В результате для прогнозирования факторов, оказывающих влияние на даты посева, предложены одно- и двухфакторные полиномиальные и однофакторные линейные зависимости с учетом климатических особенностей территорий.

В статье [18] на основе особенностей многолетних рядов биопродуктивности реализованы модели оптимизации размещения посевов с учетом влияния факторов (суммы средних месячных температур, месячных осадков за вегетационный период, число дней бездождевого и безморозного периодов) и проведен анализ рядов урожайности сельскохозяйственных культур. Приведены различного рода зависимости для Иркутского района.

В работе [129] приведены алгоритмы имитационного моделирования для оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур и природных факторов, влияющих на нее, таких как: температура воздуха, количество осадков и дней без дождей. Предложенные алгоритмы реализованы применительно к районам Иркутской области. Полученные двухфакторные зависимости использованы для моделирования значений урожайности сельскохозяйственных культур.

В аграрном производстве выделены группы факторов, которые оказывают влияние на общий эффект и рост результативности производства: общеэкономические, технико-технологические, организационно-хозяйственные, и природные. Другими словами, существует множество факторов, действующих на уровень эффективности производства. Часть из них зависит от работников, другая от организации работ, третья от внедрения новой техники и технологий [129].

Рассмотрим влияние на изменчивость затрат труда природно-климатических и производственно-экономических факторов. Согласно [52] выявлено, что экономические показатели работы предприятия, техническая оснащенность производства и развитие технологий оказывают влияние на трудозатраты в производственной деятельности. В свою очередь факторы делятся на количественные и качественные. К сожалению, качественные факторы не рассматривались ввиду сложности их оценки.

В статье [40] для оценки экономической эффективности использования трудовых ресурсов в аграрном производстве рассмотрены методы эконометрического анализа, в которых в качестве результативного признака рассмотрена производительность труда в стоимостном выражении, а факторами – «уровень фондовооруженности труда, коэффициент обновления основных производственных фондов и средняя заработная плата работника аграрной сферы. На основе построения линейной многофакторной модели регрессии выявлены факторы и резервы роста производительности труда в аграрном секторе экономики. Предложены основные направления роста производительности труда в аграрном производстве» [40].

Исследования показали, что на производственно-экономические параметры, например урожайность, влияют различные группы факторов. К первой из них относят природно-климатические факторы: особенности рельефа, свойства почвы, увлажненность территории тепловой режим и др. Вторая группа факторов связана с технологическими процессами. Сюда входят параметры, характеризующие сорта сельскохозяйственных культур, семена, количество вносимых удобрений,

химических средств защиты, особенности обработки почвы, технологии уборки урожая и др.

При этом производственно-экономические показатели могут быть связаны с факторами линейными и нелинейными связями.

В особую группу факторов можно включить экстремальные природные явления и техногенные события, которые причиняют значительный ущерб производству аграрной продукции.

Очевидно, что затраты труда, как, в частности, урожайность сельскохозяйственных культур, зависит от описанных групп факторов, поэтому большое значение имеет выбор из множества факторов наиболее значимо влияющих на результативный признак.

В исследовании акцент сделан на растениеводство, как основную отрасль, т.к. животноводство напрямую связано с работой отрасли растениеводства. Выделены следующие производственно-экономические факторы: численность работников, затраты на семена и на удобрения, а также суммарные затраты на производство растениеводческой продукции.

К природно-климатическим отнесены максимальные суточные осадки, осадки (по месяцам) и температура воздуха (по месяцам).

На основе анализа производственно-экономических и природно-климатических данных за многолетний период построены факторные модели по годовым затратам труда (результативный признак (X)). В регрессионных уравнениях использованы следующие параметры: численность работников (o_1), затраты на семена (o_2) и на удобрения (o_3), а также суммарные затраты на производство растениеводческой продукции (o_4), осадки (суточные осадки в мае-сентябре (o_5-o_9) и суммарные осадки по месяцам за май-сентябрь ($o_{10}-o_{14}$)) и температура воздуха по месяцам за май-сентябрь ($o_{15}-o_{19}$) [52]. Все величины в моделях нормированы. Другими словами, значения результативного признака и факторов рассмотрены относительно средних многолетних величин.

Степень влияния данных факторов на трудозатраты определялась с помощью коэффициентов корреляции.

При этом рассматривались все группы предприятий: микро, малые, средние и крупные.

Для микро и малых предприятий не выявлено значимых связей результативного признака и описанных выше факторов.

Анализ факторов и их связи с затратами труда показывает, что для средних предприятий в большинстве случаев основными и значимыми факторами являются затраты на семенной материал и максимальные суточные осадки в мае. Третьим фактором по ранжиру являются затраты на удобрения.

Для крупных предприятий практически во всех случаях к основным факторам отнесены затраты предприятия на удобрения, семенной материал и осадки в мае–июле. В меньшей степени трудозатраты на производство сельскохозяйственной культуры зависят от суммарных затрат на производство растениеводческой продукции.

В рамках групп средних и крупных предприятий выделено по одному предприятию, для которого построены факторные модели с независимыми переменными.

Принимая во внимание тот факт, что в 2015 г. имела место сильная засуха, которая распространилась на 13 районов региона [107], то при построении факторных зависимостей для средних и крупных предприятий не учитывались данные года. Они проанализированы отдельно, как аномальные значения [52].

При выявлении связей результативного признака и факторов для среднего предприятия ЗАО «Иркутские семена» построены значимые зависимости. В первой модели в качестве основных факторов, влияющих на трудозатраты производства растениеводческой продукции, определены затраты на семенной материал (o_2) ($R^2=0,84$) и максимальные суточные осадки в мае (o_5) ($R^2=0,43$). Уравнение модели имеет вид

$$X = (0,389 + 0,433 \frac{o_2}{o_2} + 0,160 \frac{o_5}{o_5}) \cdot \bar{X}, \quad (2.32)$$

где \bar{X} – среднее значение годовых трудозатрат в растениеводстве за многолетний период, \bar{o}_2 – среднее значение затрат на семенной материал за

многолетний период, \bar{o}_5 – среднее значение максимальных суточных осадков в мае за многолетний период.

При этом полученное выражение и коэффициенты при неизвестных значимы. Общий коэффициент детерминации составил $R^2=0,90$.

Данная зависимость (2.32) применима для нормативного прогноза. Очевидно, что величину o_2 можно задавать, поскольку она представляет собой технологический параметр. Что касается максимальных суточных осадков o_5 , то по данным многолетних наблюдений за 1968–2017 гг. показано, что согласно критерию Колмогорова и свойствам выборки осадки подчиняются закону распределения вероятностей Пирсона III типа с параметрами: $\bar{o}_5=11,2$ мм, $C_v=0,54$, $C_s=1,3$.

В таблице 2.7 приведены результаты нормативного прогноза для заданного значения o_2 и вероятностей o_5 . Данные проверки значимости уравнения (2.32) и коэффициентов при неизвестных, оценка случайности остатка ряда, результаты прогнозирования приведены в приложении 3.

Таблица 2.7 – Результаты прогнозирования годовых трудозатрат в растениеводстве по факторной модели для ЗАО «Иркутские семена», чел.-час.

X	\bar{o}_2 , тыс.руб.	p	o_5 , мм
101771	14968,6	0,05	3,96
111715	14968,6	0,50	9,97
132995	14968,6	0,95	22,81

Кроме того, можно решить обратную задачу и вычислить значения факторов, при которых трудозатраты будут принимать заданные значения. Например, можно смоделировать осадки для заданных затрат на семена, при которых предприятие будет работать максимально эффективно.

В частности, из формулы (2.4) можно получить следующее выражение:

$$o_5 = \frac{\left(\frac{X}{\bar{X}} - 0,389 - 0,433 \frac{o_2}{\bar{o}_2}\right) \cdot \bar{o}_5}{0,160}. \quad (2.33)$$

Тогда, задавая X и o_2 можно моделировать o_5 . Если годовые трудозатраты на производство растениеводческой продукции равны 115000 чел.-час., а затраты на семенной материал равны 14968,6 тыс.руб., то оптимальное количество осадков должно быть равным 14,89 мм. Другими словами недостаток влаги в почве при необходимости можно компенсировать с помощью искусственного дождевания.

Кроме того, для ЗАО «Иркутские семена» значима модель с факторами в виде затрат на семенной материал (o_2) ($R^2=0,84$) и осадков за июнь (o_{11}) ($R^2=0,18$). Линейное уравнение регрессии имеет вид:

$$X = (0,229 + 0,647 \frac{o_2}{o_2} + 0,116 \frac{o_{11}}{o_{11}}) \cdot \bar{X}. \quad (2.34)$$

Коэффициент детерминации соответствует 0,91. Климатический параметр o_{11} , характеризующий осадки за июнь, то по данным многолетних наблюдений за 1980–2017 гг. и согласно критерию Колмогорова подчиняется закону распределения вероятностей Пирсона III типа с параметрами: $\bar{o}_{11} = 75,6$ мм; $C_v=0,55$; $C_s=1,31$.

При этом проведена проверка значимости уравнения (2.34) и коэффициентов при неизвестных, оценка случайности остатка ряда, а также получен прогноз (приложение 3).

При построении моделей (2.32) и (2.34) не учитывались данные 2015 года, в летний период которого имела место аномальная засуха.

Помимо моделирования трудозатрат на производство растениеводческой продукции для среднего предприятия ЗАО «Иркутские семена» разработана факторная модель для крупного предприятия ЗАО «Железнодорожник».

Согласно результатам моделирования для этого предприятия осадки в июле (o_{12}) имеют наибольшее влияние на трудозатраты ($R^2=0,66$). Вторым по ранжиру фактором являются суммарные затраты на производство продукции растениеводства (o_4) ($R^2=0,25$). Уравнение модели выглядит следующим образом:

$$X = (0,838 - 0,174 \frac{o_4}{o_4} + 0,336 \frac{o_{12}}{o_{12}}) \cdot \bar{X}. \quad (2.35)$$

При этом уравнение (2.30) и коэффициенты при неизвестных значимы, а $R^2=0,83$.

Кроме того, для ЗАО «Железнодорожник» значимой является модель с факторами в виде затрат на семенной материал (o_2) ($R^2=0,16$) и осадков за июль (o_{12}) ($R^2=0,66$). Линейное уравнение регрессии имеет вид:

$$X = (0,778 - 0,157 \frac{o_2}{o_2} + 0,378 \frac{o_{12}}{o_{12}}) \cdot \bar{X}. \quad (2.36)$$

Уравнение (2.31) и коэффициенты при неизвестных значимы, $R^2=0,80$.

Что касается параметра o_{12} , характеризующего осадки в июле, то по данным многолетних наблюдений за 1997–2017 гг. показано, что он подчиняется гамма-распределению согласно критерию Колмогорова с параметрами: $\bar{o}_{12}=84,99$ мм, $C_v=0,40$, $C_s=1,01$. Как и в предыдущих выражениях, не учтены данные 2015 года. Проверка значимости уравнений (2.35)–(2.36) и коэффициентов при неизвестных, оценка случайности остатка ряда, а также прогнозные значения приведены данные прогнозирования (приложение 3).

На основе анализа факторов, влияющих на затраты труда, основным являются затраты на семенной материал. Другими словами, чем больше предприятие затрачивает на качественные семена, тем меньше необходимое количество затрат живого труда на производство аграрной продукции [52].

Чем больше затрат на производство в денежном выражении, тем меньше годовые трудозатраты на производство растениеводческой продукции, которые способствуют увеличению объемов производства продукции. Климатические факторы (наибольшие суточные осадки, месячные осадки в начальный период вегетации) увеличивают трудозатраты на производство растениеводческой продукции.

Отметим, что приведенные модели проанализированы и на адекватность с применением алгоритма проверки на случайность остатка ряда согласно [155]. В результате проведенной проверки выявлено, что модели адекватны и могут применяться для нормативных прогнозов затрат труда на производство продукции растениеводства (приложение 3) [52].

На основе предложенных моделей можно осуществлять нормативные прогнозы с заблаговременностью 1 год. При этом предложенные выражения позволяют решать обратные задачи, по данным трудозатрат оценивать значимость тех или иных факторов.

Отметим, что в отчетности не всегда представлена достоверная и однородная информация, либо она отсутствует. Поэтому вызывает затруднение в некоторых случаях построение значимых факторных зависимостей. Между тем полученные аналогичные результаты для разных предприятий, осуществляющих производство в разных агроландшафтных зонах, повышает достоверность моделей и практическую значимость.

Таким образом, к основным факторам, влияющим на многолетнюю динамику затрат труда, отнесены производственно-экономические факторы – затраты на семена и суммарные затраты и природно-климатические – максимальные суточные осадки и суммарные осадки в начальный период вегетации.

Как правило, модели являются двухфакторными линейными. Полученные регрессионные уравнения – значимы и адекватны; они могут быть использованы для осуществления нормативных прогнозов затрат труда. Кроме того не следует пренебрегать особенностями развития рассматриваемых предприятий [52].

Получены зависимости, при помощи которых можно осуществлять нормативные прогнозы и решать обратные задачи, позволяющие оценивать осадки, соответствующие заданным затратам труда.

Кроме того, параметры $c_s(t)$ связаны с природно-климатическими и производственно-экономическими факторами. Поэтому для них справедливо следующее математическое выражение:

$$c_s(t) = c'_s + c''_s t_1 + c'''_s t_2, \quad (2.37)$$

где t_1, t_2 - факторы, c'_s, c''_s, c'''_s – коэффициенты выражения.

Выражение (2.37) применимо и для описания трудозатрат на производство животноводческой продукции $c_h(t)$.

На основе полученных выражений для минимизации трудозатрат на производство сельскохозяйственной продукции можно использовать задачу параметрического программирования (1.38), (1.40), (1.42)–(1.45), (2.17)–(2.20) и (2.27).

3 Программный комплекс моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона

3.1 Алгоритмы решения задач оптимизации трудозатрат для аграрных предприятий региона в условиях неопределенности

При использовании факторных моделей прогностические значения получают на основе природно-климатических и производственно-экономических факторов. Определив по факторам точечное прогностическое значение, а также верхнюю и нижнюю оценки, вычисляют три оптимальных решения: по точечному прогнозу, верхней и нижней оценкам.

Алгоритм решения приведенных задач параметрического программирования с независимыми и зависимыми параметрами включает следующие шаги: с помощью статистического анализа определяются свойства коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий. Затем строятся регрессионные выражения, определяются связи между коэффициентами при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий. Если связи между показателями модели отсутствуют, то рассчитываются значения результативных признаков. По полученным данным строятся модели параметрического программирования и определяются оптимальные решения. В противном случае рассчитываются значения результативных признаков с учетом связей между коэффициентами и правыми частями ограничений, строятся модели параметрического программирования и находят оптимальные решения (рисунок 3.1).

Таким образом, рассмотрены два варианта моделей параметрического программирования. В первом варианте может быть использована задача параметрического программирования с независимыми параметрами, а во втором – с зависимыми. И в том, и в другом случае полученные оптимальные решения связаны с параметрами моделей, которые представляют собой время и факторы, влияющие на

коэффициенты при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий.



Рисунок 3.1 – Алгоритм решения детерминированной задачи параметрического программирования

Алгоритм решения задач параметрического программирования с неопределенными параметрами заключается в следующем (рисунок 3.2): определяются свойства коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий с помощью статистического анализа. Затем выявляются и строятся регрессионные выражения, законы распределения вероятностей, оцениваются верхние и нижние значения коэффициентов при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий, определяются связи между коэффициентами при неизвестных в целевой функции и правыми частями ограничений. Если связи отсутствуют, тогда рассчитываются значения результативных признаков.

Если коэффициенты и правые части ограничений – случайные величины, тогда определяются значения коэффициентов при неизвестных в целевой функции и правых частях ограничений методом Монте-Карло с применением выбранного закона распределения вероятностей и строятся модели параметрического программирования, вычисляются оптимальное решение задачи и создается распределение полученных решений.

Если коэффициенты при неизвестных в целевой функции и правые части ограничений – интервальные величины, тогда определяются значения коэффициентов при неизвестных в целевой функции и правых частях ограничений методом Монте-Карло на основе верхних и нижних оценок. Затем строятся модели параметрического программирования и определяются оптимальные решения задачи с учетом верхней, нижней и медианной оценок.

Согласно приведенному алгоритму полученные оптимальные планы зависят от качества регрессионных выражений, характеризующих трудозатраты на получение растениеводческой и животноводческой продукции, и степени изменчивости коэффициентов при неизвестных левых частях ограничений и правых частей на основе законов распределения вероятностей или интервальных оценок.

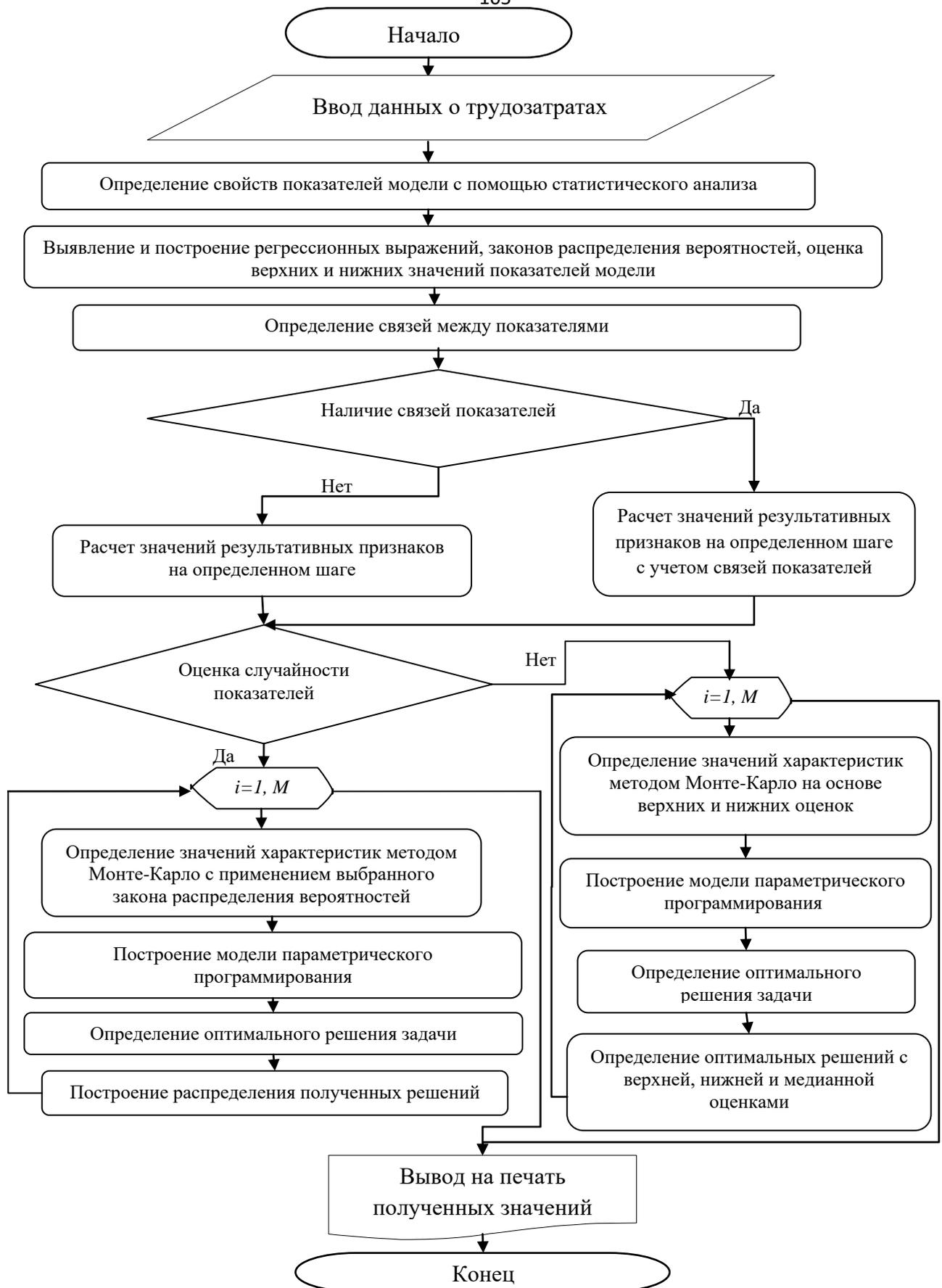


Рисунок 3.2 – Алгоритм решения задачи параметрического программирования с неопределенными параметрами

Примечание: под показателями стоит понимать коэффициенты при неизвестных в целевой функции и левых частях ограничений, а также в правых частях условий.

Таким образом, предложено два алгоритма решения задач параметрического программирования с определенными и неопределенными показателями в виде коэффициентов при неизвестных целевой функции, левых частях ограничений и правых частей условий. Эти алгоритмы учитывают различные выражения, характеризующие связи показателей модели с параметрами, а также зависимости между показателями модели.

Для показателей, представляющих собой случайные величины, предложены законы распределения вероятностей (нормальный, гамма, закон распределения вероятностей Пирсона 3 типа, 3-х параметрический степенной закон).

3.2 Программный комплекс моделирования трудозатрат для аграрных предприятий региона

Для моделирования и прогнозирования трудозатрат, а также эффективного планирования деятельности предприятий разработан программный комплекс «Моделирование трудозатрат» (рисунок 3.3), который позволяет решать задачи минимизации затрат труда на получение аграрной продукции с учетом особенностей изменчивости производственно-экономических параметров предприятий, принадлежащих одной из групп: микро, малые, средние и крупные [44–51 и др.].

Создано информационное и математическое обеспечение для программного комплекса оптимизации трудозатрат на основе: 1) построения модели данных; 2) разработки алгоритмов статистической оценки данных по трудозатратам и их реализация для определения закономерности в изменчивости рядов трудозатрат по группам предприятий; 3) разработки математического обеспечения программного комплекса согласно разработанным алгоритмам оценки трудозатрат.

Для информационного обеспечения программного комплекса использованы данные отчетов аграрных предприятий различных групп по количеству работников за 2006–2017 гг. в Иркутской области. Собраны многолетние сведения по производственно-экономическим параметрам и трудозатратам на производство аграрной продукции.

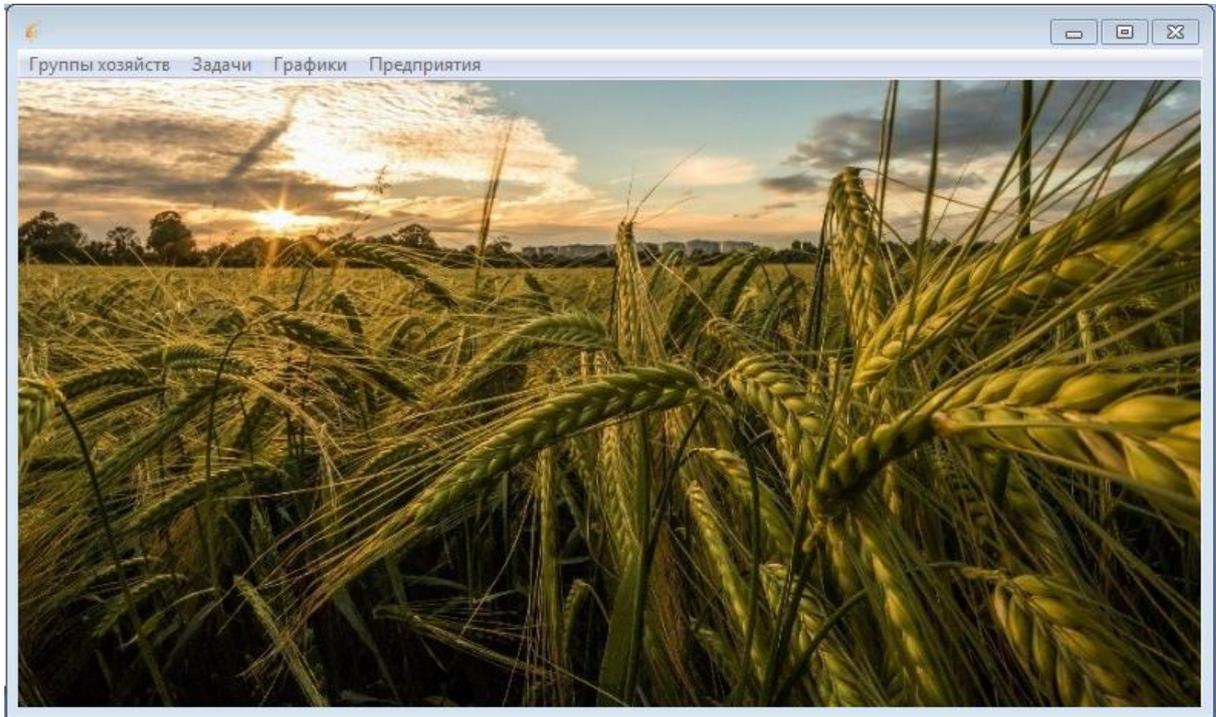


Рисунок 3.3. – Главное окно разработанного программного комплекса «Моделирование трудозатрат»

В работе использованы методы статистической обработки данных (сведений) и математического программирования в условиях неопределенности. При статистической обработке определялись группы предприятий на основе численности работников.

Динамика тенденций трудозатрат на производство основных видов аграрной продукции по выделенным группам и отдельным предприятиям определена с помощью выявления линейных и нелинейных трендов и автокорреляционных связей.

Для описания производственно-экономических параметров, являющихся случайными, использованы нормальный закон распределения вероятностей, закон Пирсона III типа, гамма-распределение. При построении трендов применялась

экспоненциальная зависимость с верхней оценкой и параболическая функция с экстремальными оценками.

При наличии автокорреляционных связей и трендов использованы модели с учетом времени и предшествующих значений.

Результатом статистической обработки данных является определение закономерности в изменчивости рядов трудозатрат по группам предприятий, а также оценка статистических свойств, характеризующих производственно-экономические параметры, к которым относятся урожайность, валовый сбор, трудовые ресурсы, земельные ресурсы, материальное обеспечение сотрудников, объемы производства животноводческой продукции, стоимость продукции и другие.

На рисунке 3.4 показана структура разработанного программного комплекса.

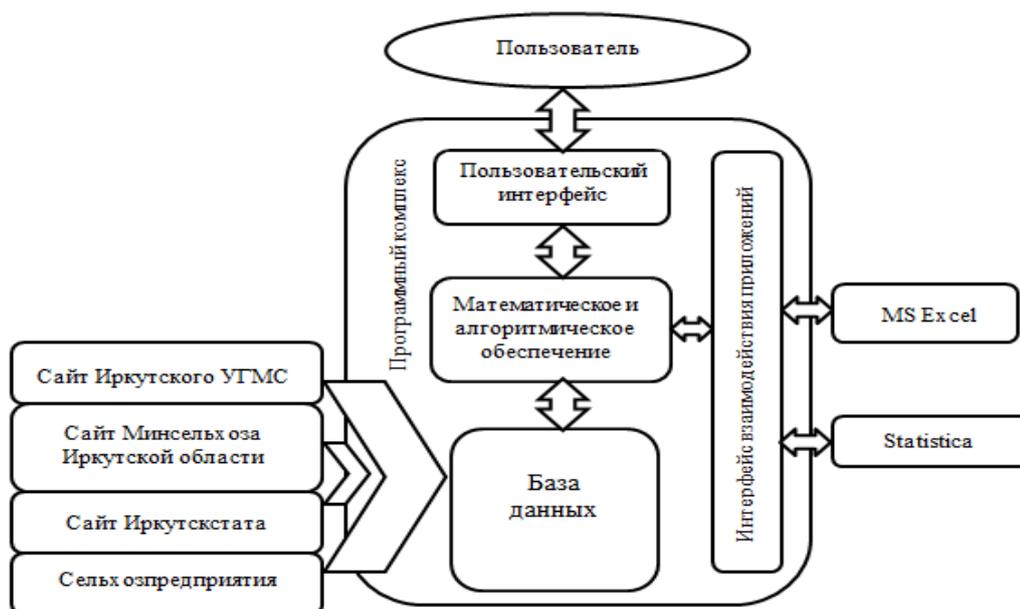


Рисунок 3.4 – Схема программного комплекса «Моделирование трудозатрат»

Основными компонентами программного комплекса являются: математическое и алгоритмическое обеспечение, база данных, пользовательский интерфейс и программное обеспечение комплекса.

База данных содержит сведения о предприятии – размеры, численность персонала, виды производимой продукции и другие. При этом учитываются

факторы, влияющие на изменчивость трудозатрат, в том числе и природно-климатические.

На рисунке 3.5 приведена функциональная модель программного комплекса «Моделирование трудозатрат», реализованная при помощи инструментария программы AllFusion Process Modeler BPwin. Для иллюстрации ее функций использована нотация IDEF0. «Оптимизация трудозатрат» является основной функцией программного комплекса. Производственно-экономические, демографические и климатические данные используются в качестве входных сведений. Результатом моделирования являются: 1) модели прогнозирования групп сельского населения; 2) модели динамики трудозатрат; 3) факторные модели изменчивости трудозатрат; 4) модели оптимизации трудозатрат; 5) оценка аномального климатического явления.

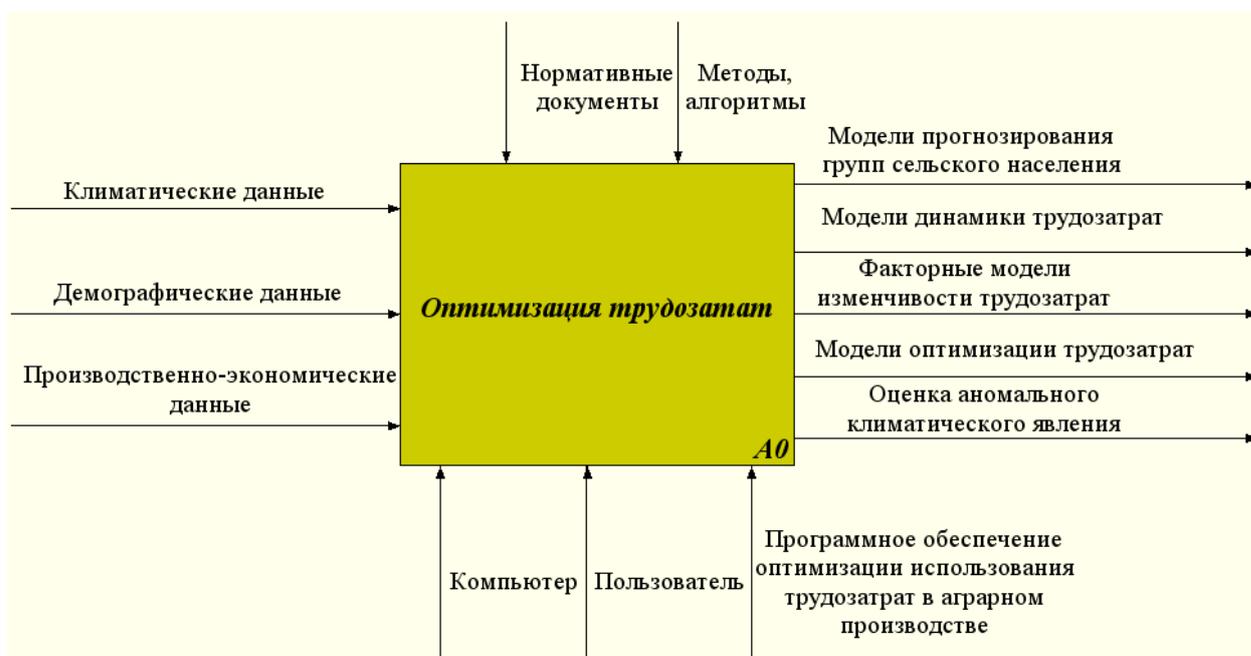


Рисунок 3.5 – Функциональная модель разработанного программного комплекса «Моделирование трудозатрат»

Основная функция «Оптимизация трудозатрат» декомпозирована на 6 подфункций (рисунок 3.6). На первом этапе осуществляется анализ демографических данных, построение модели и вычисление прогнозных значений. Затем на основе анализа производственно-экономических данных выполняется разделение предприятий на группы, и осуществляется

статистическая обработка данных – определяются лучшие и худшие варианты динамики, выделяются тренды изменчивости параметров с учетом верхних и нижних оценок. Следующий модуль связан с оценкой аномальных ситуаций, вызванных экстремальными климатическими событиями. На основе выявленных статистических свойств многолетних рядов трудозатрат на производство основных видов продукции и производственно-экономических параметров определяются соответствующие модели оптимизации использования трудовых ресурсов для групп и отдельных предприятий (детерминированные параметрические задачи линейного программирования, параметрические задачи с интервальными или случайными величинами и др.). На последнем шаге на основе выбранных моделей решается задача минимизации трудозатрат на производство аграрной продукции с выделением адекватных оптимальных планов для эффективного управления предприятием, в том числе в неблагоприятных климатических условиях.

Модель данных программного комплекса на логическом уровне составлена с помощью средства концептуального моделирования базы данных ERWin и состоит из 14 сущностей (рисунок 3.7). К основным сущностям относятся: «Предприятие», «Поле», «Ферма».

В базу данных включены такие характеристики как: численность работников предприятия, земельные площади, поголовье сельскохозяйственных животных, валовое производство, затраты труда, природно-климатические характеристики и другие.

Сущности базы данных можно разделить на следующие группы:

1. Сведения, относящиеся к предприятию: «Предприятие», «Ферма», «Поле».

2. Данные о производстве растениеводческой продукции: «Вид культуры», «Культура», «Возделывание культур», «Технологическая карта растениеводства», «Природно-климатические характеристики».

3. Данные о производстве животноводческой продукции: «Вид животноводческой продукции», «Вид животных», «Выращивание животных», «Технологическая карта животноводства».

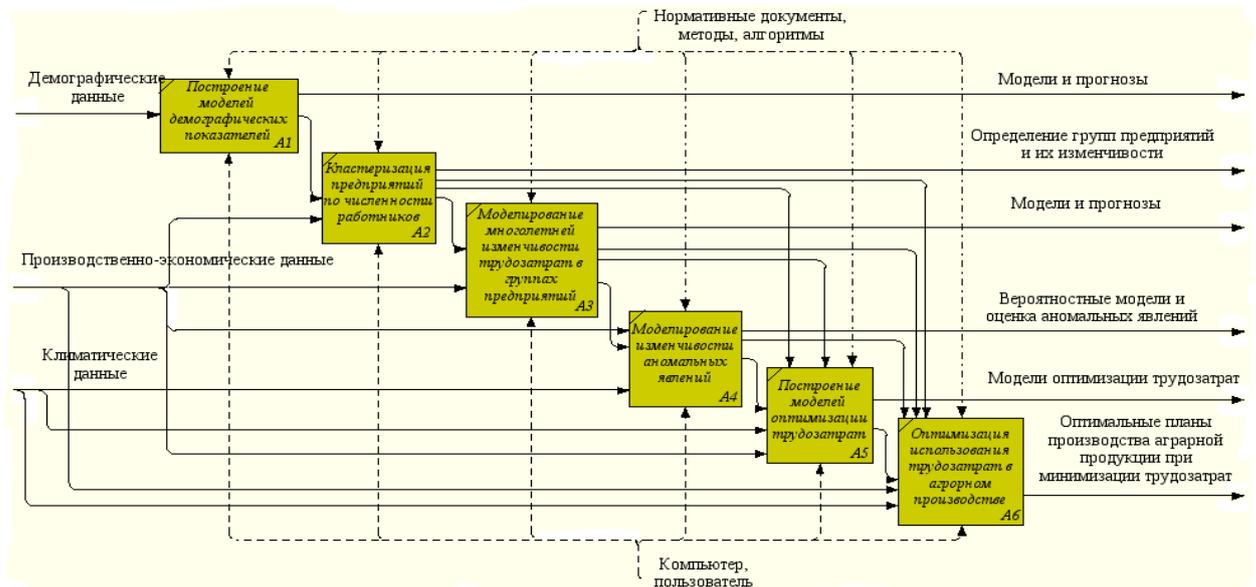


Рисунок 3.6 – Декомпозиция функциональной модели программного комплекса «Моделирование трудозатрат»

Первая группа данных включает в себя общие сведения о предприятии (название, организационную форму, адрес, численность работников и др.), данные о сельскохозяйственных полях (площадь, средняя урожайность и др.) и животноводческих фермах (поголовье, средняя продуктивность и др.) предприятия.

Ко второй группе относятся данные о возделываемых сельскохозяйственных культурах, распределении их по полям предприятия, природно-климатических характеристиках, а также производственных результатах: урожайность, валовый сбор, материальные и трудовые затраты.

В третью группу входят сведения о результатах производства животноводческой продукции: виды животноводческой продукции, распределение сельскохозяйственных животных по фермам предприятия, валовый надой молока у КРС, валовый привес мяса, трудовые и материальные затраты и другие.

Методы математической статистики и пользовательский интерфейс программного комплекса реализованы при помощи интегрированной среды разработки Borland Delphi 7. База данных выполнена в СУБД Access.

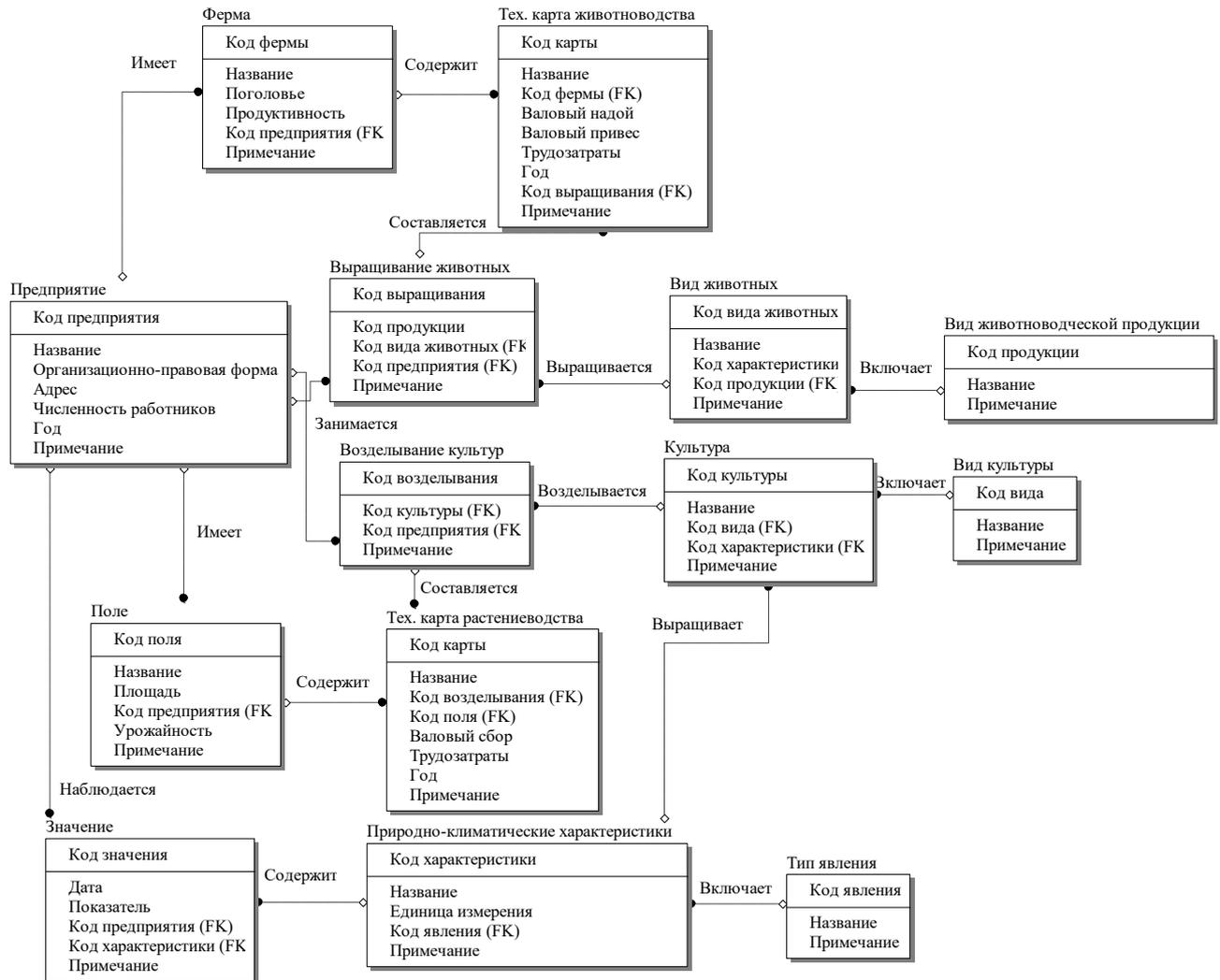


Рисунок 3.7 – Логический уровень модели данных программного комплекса «Моделирование трудозатрат»

Математическое обеспечение программного комплекса включает в себя модуль группировки аграрных предприятий по количеству работников (рисунок 3.8), численность которых может варьировать в течение многолетнего периода. Используемые методы теории вероятностей и математической статистики позволяют оценивать статистические свойства изменчивости производственно-экономических характеристик каждой группы и конкретных предприятий (рисунок 3.9). Выделенные закономерности в изменчивости производственно-экономических характеристик способствуют определению вида экстремальной

задачи для моделирования затрат труда на производство растениеводческой и животноводческой продукции.

Математическое обеспечение программного комплекса позволяет оптимизировать трудозатраты на основе использования различных задач математического программирования с неопределенными параметрами. Для оптимизации трудозатрат предложены модели линейного и параметрического программирования, оптимизационные задачи с интервальными и случайными оценками, а также варианты с детерминированными и неопределенными характеристиками (рисунок 3.10) [79, 122 и др.].

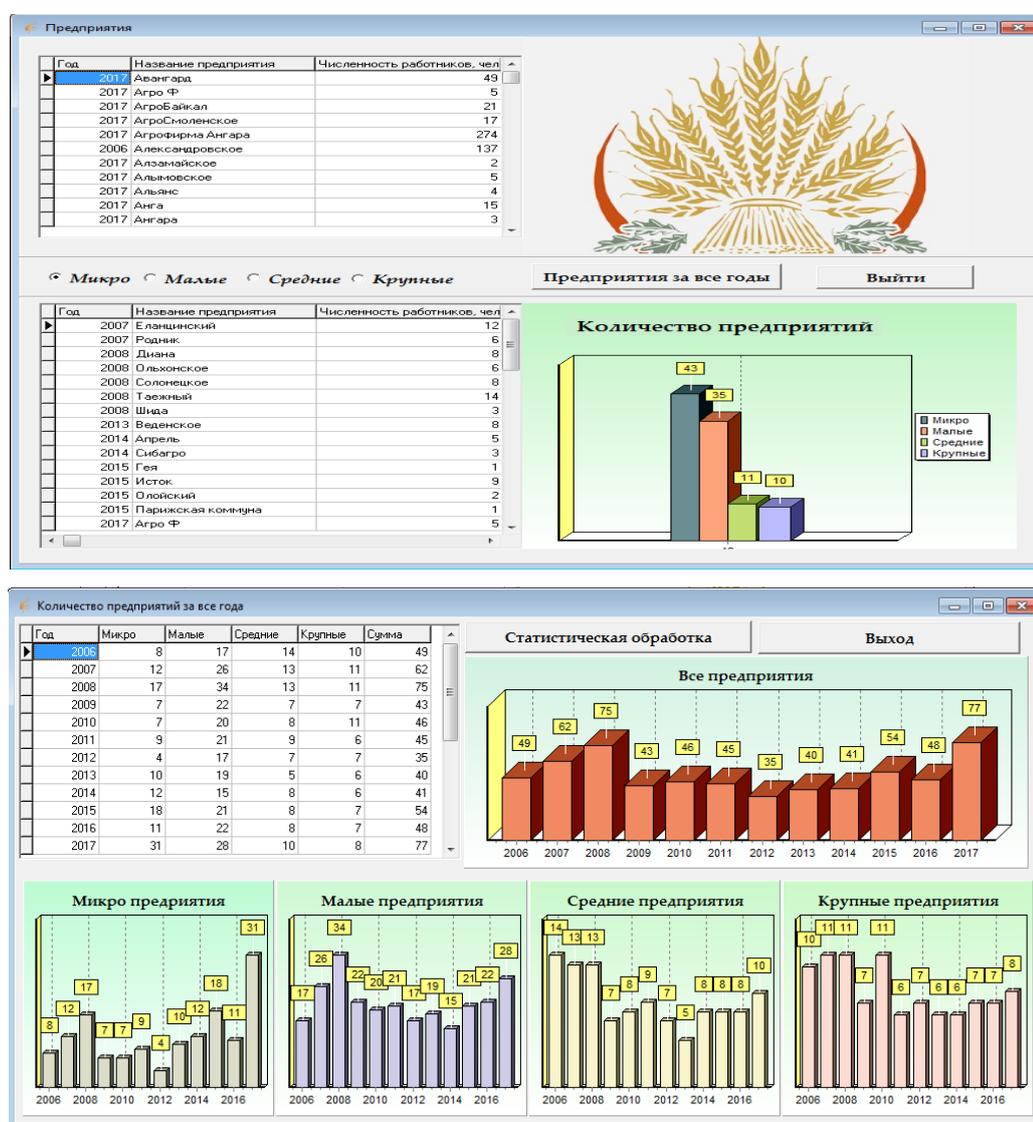


Рисунок 3.8 – Пример окна группировки предприятий по численности работников, реализованной в программном комплексе «Моделирование трудозатрат»

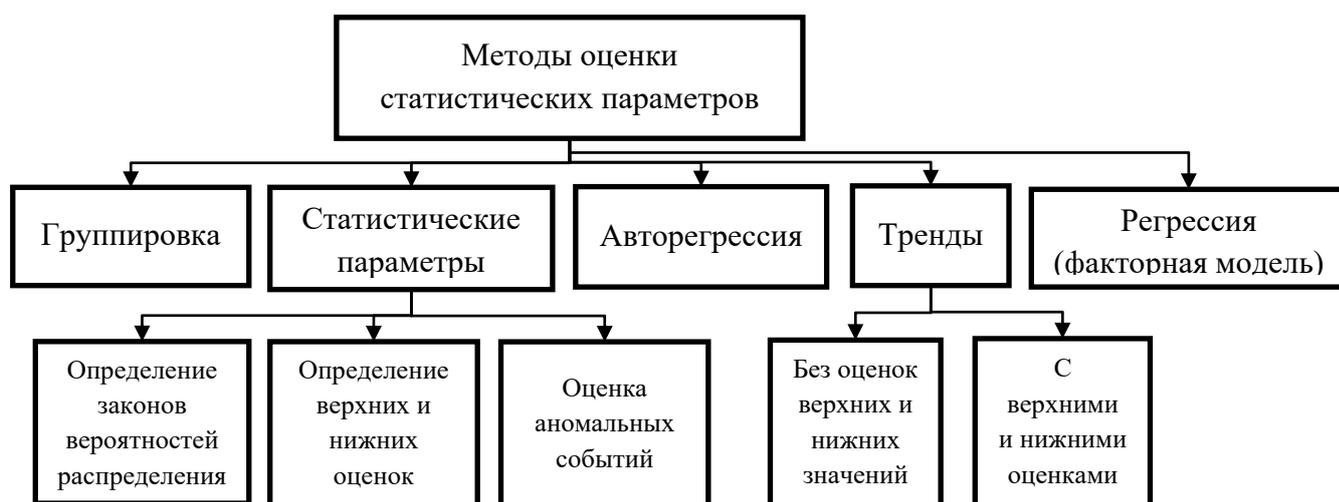


Рисунок 3.9 – Методы оценки статистических параметров, реализованные в программном комплексе «Моделирование трудозатрат»



Рисунок 3.10 – Классификация задач математического программирования, реализованных в программном комплексе «Моделирование трудозатрат»

Алгоритм работы программного комплекса состоит из следующих операций:

1. Исходная информация по аграрным предприятиям региона вносится в базу данных вручную либо автоматически с сайта Министерства сельского хозяйства Иркутской области (рисунок 3.11).

2. На основе исходной информации осуществляется разделение предприятий по четырем группам по численности персонала (микропредприятия, малые, средние и крупные). Фрагмент программного кода этого пункта приведен в приложении И.

Рисунок 3.11 – Пример окна «редактирование данных», предназначенного для внесения новых данных

3. По трудозатратам на производство основных видов продукции в каждой группе оцениваются средние трудозатраты в группах, определяются лучшие и худшие варианты динамики трудозатрат, выделяются тренды изменчивости параметров с учетом верхних и нижних оценок.

4. Определяются статистические свойства производственных параметров предприятий и групп предприятий. Фрагмент программного кода приведен в приложении К.

5. Производится оценка ситуации, связанной с максимальными рисками аграрного предприятия по производству продукции, вызванными климатическими событиями.

6. На основе выявленных статистических свойств многолетних рядов трудозатрат на производство основных видов продукции и производственно-экономических параметров определяются соответствующие модели оптимизации использования трудовых ресурсов для групп и отдельных предприятий (параметрические, параметрические с интервальными оценками, параметрические со случайными оценками и др.).

При решении задач параметрического программирования используются наилучшие по критериям точности, адекватности и ретроспективному прогнозу

аналитические зависимости. Решение задачи осуществляется для точечного и интервального прогнозов.

При решении задачи параметрического программирования с интервальными оценками последние моделируются на основе метода Монте-Карло. Число экспериментов завершается при условии $|f_{i\max}^* - f_{i-1\max}^*| \leq \varepsilon$, где $f_{i\max}^*$, $f_{i-1\max}^*$ – наибольшие оптимальные значения целевой функции на этапах i и $i-1$, ε – заданная точность вычислений оптимальных планов.

При решении задачи параметрического программирования с вероятностными параметрами оптимальные решения получают на основе моделирования одних параметров согласно законам распределения вероятностей, а других – в соответствии с прогностическими значениями. Итогом решения задач являются зависимости критерия оптимальности от вероятностей и прогностических значений и соответствующие им оптимальные планы. В качестве достаточности количества решений использовано выражение $|f_{i\max}^p - f_{i-1\max}^p| \leq \varepsilon_p$ (p соответствует опорным значениям вероятностей 0,1, 0,5 и 0,9).

7. На основе выбранных моделей решается задача минимизации трудозатрат на производство аграрной продукции с выделением адекватных оптимальных планов для эффективного управления предприятием, в том числе в неблагоприятных климатических условиях. Фрагмент программного кода приведен в приложении Л.

Особенностью данного программного комплекса является возможность моделирования трудозатрат на производство растениеводческой и животноводческой продукции, потенциала повышения эффективности управленческих решений. Основными пользователями программного комплекса могут быть экономисты и руководители предприятий.

Программный комплекс апробирован для предприятий Иркутской области.

Таким образом, разработан программный комплекс моделирования трудозатрат для региональной оценки изменчивости трудозатрат различных групп аграрных предприятий и оптимизации этого параметра применительно к

конкретному предприятию. Создана база данных. Разработаны алгоритмы статистической оценки данных по трудозатратам и определения закономерностей в изменчивости их рядов по группам предприятий, а также получения оптимальных планов для конкретных аграрных предприятий в условиях неопределенности. Создано математическое обеспечение для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции с учетом влияния внешних факторов.

Программный комплекс «Моделирование трудозатрат» позволяет решать задачи оптимизации трудозатрат для различных групп предприятий с учетом особенностей изменчивости их параметров и базой данных, с помощью которой по первичным данным определяются трудозатраты на производство продукции, в качестве модуля. В состав математического обеспечения программного комплекса входят задачи параметрического программирования, модели с интервальными, случайными параметрами и смешанные модели. Кроме того, здесь применимы нелинейные модели прогнозирования трудозатрат с верхними и нижними оценками.

3.3 Решение задач оптимизации трудозатрат с помощью программного комплекса

Предложен алгоритм получения оптимальных планов в условиях неполной информации, включающий в себя следующую последовательность операций:

- 1) сбор и систематизацию данных из годовых отчетов о деятельности аграрных предприятий за многолетний период и дополнение сведениями регионального статистического управления;
- 2) группировку рассматриваемых предприятий согласно численности работников;

- 3) статистическую обработку данных для определения закономерностей изменчивости параметров, характеризующих производство и влияние внешних условий на получение продукции;
- 4) кластеризацию параметров, входящих в оптимизационные модели по степени детерминированности;
- 5) выбор наилучшего вида задачи математического программирования для оптимизации трудозатрат на производство аграрной продукции;
- 6) реализацию оптимизационной модели и анализ полученных результатов для выработки предложений по планированию.

С помощью программного комплекса реализованы предложенные алгоритмы для четырех предприятий: ООО «Еланское» (микропредприятие); ООО «Авангард» (малое предприятие); ЗАО «Иркутские семена» (среднее предприятие); ЗАО «Железнодорожник» (крупное предприятие).

Для микропредприятия ООО «Еланское» реализована модель с интервальными оценками (1.27)–(1.29). Трудозатраты на производство растениеводческой продукции изменялись в пределах от 26 до 50 чел.-час./га, а в животноводстве – от 120 до 164 чел.-час./ц. В результате получены оптимальные планы, значения которых соответствуют верхней и нижней оценкам целевой функции 19355 и 13921 чел.-час.. Медианное значение равно 16512 чел.-час.(приложение М). При этом получены значительные расхождения по затратам труда на производство с фактическими данными (около 30 %), что связано. Следует отметить, что производство продукции на предприятии сильно колеблется, что обусловлено, прежде всего, неэффективным использованием трудовых ресурсов. Каждому полученному значению целевой функции соответствует оптимальный план производства. Для медианного значения целевой функции, равной 16512 чел.-час., полученные значения плана производства по видам продукции приведены в приложении М. При этом на основе сопоставления оптимальных планов, соответствующих верхним, нижним и медианным оценкам целевой функции, 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 (2.3), (1.37), (2.4), (1.30), (1.40), (2.5), (1.42)–(1.45) с учетом точечного и интервального прогнозов (уравнения приведены в таблице 3.1).

Таблица 3.1 – Трудозатраты ООО «Авангард» на производство аграрной продукции

Вид продукции	\bar{x}	σ	c_v	R^2	Примечание
Зерновые	0,96	0,405	0,424	0,74	Гиперболический тренд с учетом верхних и нижних оценок $y=0,35/(0,118+0,070t)$
Кормовые	0,05	0,054	0,350		Среднее значение
Молоко	4,15	1,370	0,330	0,94	Экспонента с учетом верхнего предела $y=6,7967e^{-0,097t}$
Мясо крупного рогатого скота	36,40	19,472	0,535	0,91	Экспонента с учетом верхнего предела $y=73,76e^{-0,148t}$

По точечному прогнозу показателей, характеризующих трудозатраты на производство зерновых культур, молока и мяса крупного рогатого скота, общие затраты труда составили 41691 чел.-час. (результат решения задачи, включающий оптимальный план производства приведен в приложении Н). При этом с учетом интервальных прогнозов при уровне значимости 0,1 общие трудозатраты по данным моделирования находятся в интервале от 35564 до 48184 чел.-час.. Применение задач параметрического программирования раскрывает резерв для снижения затрат труда на 31,9 %. 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.

Среднее предприятие ЗАО «Иркутские семена» специализируется на производстве картофеля, хотя дополнительно возделывает зерновые, кормовые культуры и получает мясо свиней.

Согласно статистической обработке затраты труда на получение картофеля описываются гиперболой с верхней и нижней оценкой, зерна – гамма-распределением, а кормовых культур и свинины – усредненными значениями (таблица 3.2). В качестве усредненных величин приняты объемы производства, земельные ресурсы, основные фонды, оплата труда и реализация товаров.

Таблица 3.2 – Параметры изменчивости затрат труда для ЗАО «Иркутские семена»

Вид продукции	\bar{x}	σ	c_v	R^2	Примечание
Зерновые	0,63	0,10	0,16	-	Гамма-распределение
Картофель	1,15	0,389	0,340	0,66	Гиперболический тренд с учетом верхних и нижних оценок $y=0,8/(0,447+0,0569t)$

Помимо прогностических значений затрат труда на производство картофеля, согласно закону распределения вероятностей определяются трудозатраты на получение зерновых культур, а также их урожайность. Таким образом, получаемые оптимальные планы, связаны с вероятностью затрат труда на производство этой культуры и вероятностью ее урожайности. Из множества решений выбирались три варианта, соответствующие некоторым заданным вероятностям, характеризующим худшие, лучшие и усредненные значения.

Приведем результаты реализации алгоритма решения задачи оптимизации трудозатрат для ЗАО «Иркутские семена». Количество испытаний – 100. Фрагмент решения задачи приведен на рисунке 3.12.

При решении задачи параметрического программирования использованы точечные прогнозы для картофеля по гиперболической и экспоненциальной функции (таблица 3.3). Кроме того, функции удовлетворяют требованиям значимости уравнений и коэффициентов, а также оценки случайности остатка ряда.

Таблица 3.3 – Нелинейные модели многолетней изменчивости затрат труда на производство аграрной продукции для ЗАО «Иркутские семена» за 2006–2017 гг.

Вид продукции	Модель	R ²
Гипербола		
Картофель	$y=0,8/(0,447+0,0569t)$	0,66
Экспонента		
Картофель	$y=1,7421e^{-0,083t}$	0,64

Для ЗАО «Иркутские семена» применены комбинированные модели, реализована задача параметрического программирования с вероятностными параметрами (гамма) для задачи (1.37)–(1.45) с учетом (2.17)–(2.20) (приложение О). При вероятности $p=0,5$, значение целевой функции составило 140472 чел.-час., при $p=0,1$ – 131971 чел.-час., а при $p=0,9$ – 150116 чел. – час [45].

Оптимальный план производства для целевой функции 140472 чел.-час.: зерновые – 70918,0 ц, зернобобовые – 4488,0 ц, картофель – 87920,0 ц, семена многолетних трав – 344,6 ц, свинина – 565,0 ц.

К этому следует добавить второй вариант модели минимизации трудозатрат для среднего предприятия «Иркутские семена», в котором учитывается линейная зависимость урожайности зерновых культур от трудозатрат (2.21). В этом случае целевая функция связана с вероятностью трудозатрат на производство зерновых культур. Критерий оптимальности здесь принимает следующие значения: при вероятности $p=0,5$ – 141868 чел.-час., при $p=0,9$ – 148497 чел.-час., а при $p=0,1$ – 134194 чел.-час.

При этом предпочтительнее вторая модель, учитывающая зависимость урожайности зерновых культур от трудозатрат на их производство. Это обусловлено, в первую очередь тем, что интервал разброса полученных значений по второй модели в 1,5 раза меньше, чем в первом случае [45].

The image shows two overlapping windows from a software application. The top window, titled 'Параметрическое программирование', displays a table with 16 rows and 11 columns. The columns are: №, Вер-сть трудозатрат, Трудозатраты зерновые, Вер-ть урожайности, Урожайность, Зерновые x1, Зернобобовые x2, Картофель x3, Система многолетних трав x4, Свинона x5, Вспомог. персонал, ЦФ. The bottom window, titled 'Задача параметрического программирования с двумя вероятностями', displays a table with 17 rows and 11 columns. The columns are: №, Вероятность, Зерновые, Урожайность, Зерновые x1, Зернобобовые x2, Картофель x3, Система многолетних трав x4, Свинона x5, Вспомогательная, Целевая функция. Both windows have a 'Получить решение' button.

Рисунок 3.12 – Окно решения задачи минимизации трудозатрат для ЗАО «Иркутские семена»

Сравнение фактических данных предприятия с результатами реализации модели параметрического программирования с применением точечного прогноза показывает расхождение более 5,1 %, т.е. существует возможность повышения эффективности работы предприятия за счет уменьшения затрат труда на производство аграрной продукции на приведенную величину.

Целевая функция при точечном прогнозе с применением экспоненциальной зависимости принимает значение 121559 чел.-час.; при интервальном прогнозе – ее значение будет находиться в интервале 81339 ÷ 161069 чел.-час. при уровне значимости 0,1. За счет снижения трудозатрат на производство картофеля в размере 0,10 чел.-час./ц. выявлен резерв свыше 10 тыс. чел.-час.

Кроме того, вскрыты резервы – более 6,75 тыс. чел.-час. при условии что объемы производства картофеля будут находиться на уровне прошедшего года или выше, т.к. фактические трудозатраты на возделывание картофеля предприятием находились на уровне 0,80 чел.-час./ц., а при использовании гиперболической зависимости могут составлять 0,75 чел.-час./ц.

Сравнивая результаты оптимизации трудозатрат с использованием гиперболической и экспоненциальной зависимостей на основе задачи

параметрического программирования предпочтение стоит отдать модели с экспонентой, в которой целевая функция на 2,8 % меньше, чем в модели с гиперболой. Потенциальная экономия трудозатрат может составить до 7,9 %.

При этом необходимо учитывать снижение интенсивности уменьшения затрат труда по гиперболической функции применительно к производимой предприятием продукции. Так, по данным 4 прогностических лет для экспоненты снижение более 8,5 %, а для гиперболы оно немного превышает 5 % относительно данных предшествующего года. При этом экспонента дает более высокий интервал прогнозирования по сравнению с гиперболой. Эти тенденции позволяют применять экспоненциальные зависимости для прогнозирования затрат труда на 1 год, а гиперболические применимы для заблаговременности 1–3 года.

Для ЗАО «Иркутские семена» кроме задачи параметрического программирования решена еще и задача линейного программирования с интервальными параметрами. Для выбранного количества решений (50) с применением метода статистических испытаний граничные оценки целевой функции находились на уровне 137461 и 233750 чел.-час. Другими словами, размах критерия оптимальности по данной задаче превышает в 1,24 и 1,7 раза полученные показатели оптимальности для моделей параметрического программирования с экспоненциальной и гиперболической зависимостями.

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.

При минимизации затрат труда на крупном предприятии ЗАО «Железнодорожник» использована смешанная модель (1.37)–(1.45) с учетом (2.17)–(2.20), в которой часть параметров – детерминированные, а другая – случайные.

Анализ затрат труда на производство основных видов продукции, производимых крупным предприятием ЗАО «Железнодорожник» приведены в

таблице 3.4. Значимые тенденции выявлены по трудозатратам на производство зерновых и молока, мяса КРС. Затраты труда в картофелеводстве и кормопроизводстве подчиняются логарифмически нормальному и гамма законам распределения вероятностей.

В дополнение обратим внимание, что производственно-экономические характеристики предприятий изменяются различными темпами. Особенно отметим большую изменчивость урожайности кормовых культур и картофеля. Среднее значение урожайности кормовых культур составляет 105,5 ц/га при коэффициенте вариации, равном 0,29; урожайности картофеля и параметра рассеяния – 240 ц/га и 0,16 соответственно. При этом по критерию Колмогорова-Смирнова ряды урожайности сельскохозяйственных культур могут быть описаны при помощи гамма-распределения. Отметим, что данный показатель для кормовых культур за многолетний период обладает более существенным рассеянием по сравнению с картофелем, который является одной из культур, на производстве которых специализируется предприятие.

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) предполагает поиск резервов для этого показателя относительно производства зерновых и картофеля.

По результатам оптимизации затрат труда на производство аграрной продукции выявлена возможность их сокращения на 7–33 % в зависимости от группы предприятия. Полученные результаты потенциально повышают эффективность управления производством [45].

Таблица 3.4 – Параметры изменчивости затрат труда на производство аграрной продукции в ЗАО «Железнодорожник»

Вид продукции	\bar{x}	σ	c_v	R^2	Примечание
Зерновые	0,49	0,103	0,210	0,84	Гиперболический тренд, учитывающий верхние и нижние оценки $y=0,39/(0,593+0,048t)$ без учета 2015 г.
Кормовые	0,049	0,025	0,51	0	Гамма-распределение
Картофель	0,38	0,12	0,33	0	Логнормальный закон
Молоко	1,53	0,065	0,042		Среднее значение, т.к. затраты стабильны
Мясо КРС	11,915	2,823	0,237	0,66	Гиперболический тренд, учитывающий верхние и нижние оценки $y=7,75/(0,459+0,0439t)$

Отдельно решена задача линейного программирования с учетом анализа основных климатических факторов, влияющих в конечном итоге на трудозатраты 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. Реализация модели минимизации трудозатрат осуществлялась для двух случаев: усредненных параметров и в условиях засухи. В неблагоприятной ситуации предприятие увеличило затраты труда в три раза. Другими словами, чтобы достигнуть усредненных объемов производства в неблагоприятных условиях при существующем уровне технологий необходимо затратить намного больше труда и средств.

Предложенные модели, реализованные для разных групп предприятий, позволяют оценивать трудозатраты на производство аграрной продукции с применением нелинейных трендов с учетом верхних и нижних оценок, что способствует использованию задач параметрического программирования.

Между тем возможность применения тех или иных зависимостей обусловлена особенностями аграрного производства на конкретном предприятии или в рамках группы.

Разработанный программный комплекс позволяет решать задачи минимизации трудозатрат для выявления резервов повышения эффективности деятельности в различных группах аграрных предприятий.

Заключение

Предложены модели прогнозирования различных групп сельского населения региона и муниципальных районов. Из них наилучшими являются нелинейные модели с верхними и нижними оценками и авторегрессионные зависимости, позволившие выявить тенденции изменчивости населения сельской местности различных категорий для региона и муниципальных районов с возможностью прогнозирования с упреждением 1 год.

Разработана методика оценки динамики затрат труда на производство аграрной продукции в группах предприятий по численности работников. Показано, что наиболее стабильными по производству основных видов аграрной продукции являются крупные предприятия. Наилучшими для моделирования являются гиперболические и экспоненциальные зависимости согласно критериям точности и адекватности. Модели могут быть использованы для групп и отдельных предприятий региона.

Разработаны факторные модели прогнозирования трудозатрат на производство аграрной продукции для предприятий разных групп, в которые входят природно-климатические и производственно-экономические параметры. Предложены факторные зависимости, в которых результирующий признак линейно зависит от суточных и суммарных осадков по месяцам в начальные месяцы вегетации и затраты на семена.

Выявлены аномальные значения трудозатрат, связанные с неблагоприятными природно-климатическими условиями. Предложен алгоритм вероятностной оценки гидрометеорологической ситуации и рисков производства аграрной продукции в аномальные годы.

Разработаны детерминированные модели параметрического программирования с зависимыми и независимыми коэффициентами при неизвестных в целевой функции, левых и правыми частях ограничений.

Реализованы модели математического программирования с неопределенными параметрами в виде случайных и интервальных величин.

Для получения оптимальных решений для моделей с детерминированными и неопределенными параметрами реализован алгоритм, учитывающий статистические свойства изменчивости коэффициентов при неизвестных в целевой функции и ограничениях с использованием метода статистических испытаний.

Разработан программный комплекс моделирования использования трудовых ресурсов для получения аграрной продукции на предприятиях с разной численностью работников, с помощью которого реализованы математические модели и алгоритмы применительно к аграрным предприятиям региона. В состав математического обеспечения программного комплекса входят задачи параметрического программирования, модели с интервальными, случайными параметрами и смешанные модели. В предложенных прикладных экстремальных задачах использованы нелинейные модели прогнозирования трудозатрат с верхними и нижними оценками.

В дальнейшем необходима детализация предложенных моделей для минимизации трудозатрат, а также разработка и реализация моделей с учетом влияния на производство различного рода неблагоприятных экстремальных природных явлений.

Разработанный программный комплекс является открытым и может быть дополнен новыми моделями, алгоритмами и данными. Кроме того, важным направлением улучшения программного комплекса является автоматизированное получение данных о трудозатратах.

Список литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 31.12.2001 №197–ФЗ (ред. от 16.12.2019) // «Собрание законодательства РФ», 07.01.2002, №1 (часть I), ст. 13.
2. Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.2007 №209–ФЗ (ред. 27.12.2019) // «Собрание законодательства РФ», 30.07.2007, № 31, ст. 4006.
3. Федеральный закон «О страховых пенсиях» от 28.12.2013 №400–ФЗ (ред. от 01.10.2019) // «Российская газета», 15.01.2014, №6 (Приложения 1–4).
4. Указ Президента Российской Федерации «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» от 30.01.2010 №120 // «Собрание законодательства РФ», 01.02.2010, №5 ст. 502.
5. Аветисян, А. Г. Метод решения задач параметрического линейного программирования, основанный на дифференциальных преобразованиях / А. Г. Аветисян, Л. С. Гюльзаян // Известия Томского политехнического университета: Математика и механика. Физика. – 2014. – Т.324, № 2. – С. 25–30.
6. Авторегрессионные алгоритмы прогнозирования / И. В. Фадеев [др.] // Машинное обучение и анализ данных. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 92–103.
7. Автухович, Е. В. Оптимизация эффективности использования и замены сельскохозяйственных машин и оборудования на основе применения динамического программирования / Е. В. Автухович // Финансовое оздоровление предприятий АПК. – Москва. – 2001. – Вып. 5. – С.28–34.
8. Аграрная экономика / М. Н. Малыш [и др.]. – СПб: Изд-во СПбГАУ, 2009. – 400 с.
9. Акимов, А. В. Глобальные продовольственная, энергетическая и демографическая проблемы и их влияние на долгосрочную стратегию России : дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.14 / А. В. Акимов. – М., 2004. – 357 с.

10. Акимов, А. В. Долгосрочные перспективы роста численности населения мира / А. В. Акимов // ИПиСИ. – 2010. – Т. 3, №2. – С. 5–24.
11. Акимов, А. В. Прогноз численности населения стран Ближнего Востока до 2050 года и проблемы водоснабжения региона / А. В. Акимов // Вестник МГИМО университета. – 2010. – № 5. – С. 300–306.
12. Акулич, И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов / И. Л. Акулич. – 2-е изд., испр. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 347 с.
13. Акулич, И. Л. Моделирование поведения клиентов в маркетинге взаимоотношений / И. Л. Акулич, Е. В. Кудасова // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2016. – № 2. – С. 32–36.
14. Алиев, Ш. М. Численность и воспроизводство населения Дагестана / Ш. М. Алиев, З. М. Гаджиева, Р. М. Куччаев // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2015. – № 3(32). – С. 68–72.
15. Асалханов, П. Г. Линейные и нелинейные многофакторные модели в задаче прогнозирования сроков агротехнологических операций / П. Г. Асалханов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – №4. – С. 171–177.
16. Асалханов, П. Г. Математическое и программное обеспечение прогнозирования и планирования агротехнологических операций для природно-климатических зон региона : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / П. Г. Асалханов. – Иркутск, 2013. – 168 с.
17. Асалханов П.Г. Результативность визуального анализа в задачах принятия решений / П.Г. Асалханов, Ж.И. Вараница-Городовская, Я.М. Иванько // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – №3 (11). – С. 156–164.
18. Астафьева, М. Н. Оценка изменчивости многолетних временных рядов биопродуктивности культур в задачах оптимизации размещения посевов /

М. Н. Астафьева, Я. М. Иваньо // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – №2 (73). – С. 16–20.

19. Асхабов, Р. Ю. Повышение эффективности использования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве региона: теория, методология и практика : дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Р. Ю. Асхабов. – М., 2007. – 353 с.

20. Ахметова, Ф. Н. Анализ и прогнозирование количественных показателей формирования трудовых ресурсов в Ивановской области [Электронный ресурс] / Ф. Н. Ахметова, А. В. Ноговицына, П. В. Симонин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – Т. 7, №3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/157EVN315.pdf> (дата обращения: 14.06.2018).

21. Барсукова, М. Н. Авторегрессионные модели в задачах оптимизации сельскохозяйственного производства устойчивых предприятий / М. Н. Барсукова, Я. М. Иваньо // Вестник Воронежского технического университета. – 2007. – Т.3, №7. – С. 102–105.

22. Барсукова, М. Н. О применении моделей параметрического программирования для решения задач сельскохозяйственного производства / М. Н. Барсукова, В. Р. Елохин, Я. М. Иваньо // Природопользование и аграрное производство : сб. ст. Междунар. науч.–практ. конф. (23–25.05.2012, Иркутск). – Иркутск, 2012. – С. 175–181.

23. Барсукова, М. Н. Об оптимизационных моделях сельскохозяйственного производства: классификация и применение / М. Н. Барсукова, А. Ю. Белякова, Я. М. Иваньо // Труды XI международной конференции «Информационные и математические технологии в научных исследованиях». – Иркутск, 2006. – Ч. 1. – С.49–57.

24. Барсукова, М. Н. Оптимизационные модели планирования производства стабильных сельскохозяйственных предприятий / М. Н. Барсукова, Я. М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2010. – 160 с.

25. Батурин, В. А. Применение модели «Регион» для анализа медико-экологических аспектов развития Байкальского региона / В. А. Батурин, А. Б. Столбов // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, № 6. – С. 1019–1025.

26. Башалханова, Л. Б. Климатические условия жизнедеятельности населения северных окраин Сибири / Л. Б. Башалханова, Е. В. Максютова // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 100–106.
27. Белова, Т. Н. Математическая модель оптимизации производственной программы для фермерского хозяйства / Т. Н. Белова // Достижения науки и техники в АПК. – 1998. – № 4. – С. 41–43.
28. Белова, Т. Н. О применении методов оптимизации в планировании и управлении в сельском хозяйстве / Т. Н. Белова // АПК: экономика и управление. – 1989. – № 1. – С. 104–106.
29. Белокопытов А. В. Эффективность использования сельскохозяйственного труда в условиях формирования аграрного рынка: теория, методология, практика : дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / А. В. Белокопытов. – М., 2005. – 327 с.
30. Беляков, А. А. Модели формирования эффективных механизированных комплексов растениеводства в АПК Красноярского края : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. А. Беляков. – Красноярск, 2004. – 243 с.
31. Белякова, А. Ю. Вероятностные модели экстремальных гидрологических явлений в задачах оптимизации сельскохозяйственного производства : Монография / А. Ю. Белякова, Я. М. Иваньо ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2009. – 145 с.
32. Белякова, А. Ю. Задачи оптимизации сельскохозяйственного производства в условиях проявления наводнений и засух / А. Ю. Белякова, Е. В. Вашукевич, Я. М. Иваньо // Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию Победы в Великой Отечественной войне (13–15.04.2010, Иркутск). – Иркутск, 2010. – Ч. 2. – С. 11–17.
33. Бендик, Н. В. Программные средства моделирования сельскохозяйственных параметров с учетом природных и техногенных событий / Н. В. Бендик, Я. М. Иваньо // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. – Т.10, № 3. – С. 67–71.

34. Бережная, Е. В. Математические методы моделирования экономических систем : учеб. пособие / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. – М. : Финансы и статистика, 2003. – С. 294–303.
35. Бирюков, В. Н. Обусловленность практических задач параметрической оптимизации / В. Н. Бирюков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №6. – С. 167–169.
36. Блинова, Т. В. Сценарный прогноз численности сельского населения России на среднесрочную перспективу / Т. В. Блинова, С. Г. Былина // Экономика региона. – 2014. – №4 (40). – С. 298–308.
37. Блохинов, Е. Г. Распределение вероятностей величин речного стока М.: Наука, 1974. 169 с.
38. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1994. – 314 с.
39. Булатов, В. П. Математическое моделирование в технике, энергетике и экономике / В. П. Булатов, Н. И. Федурин // Информационные технологии в образовании и науке : материалы 2-го науч.-метод. семинара (15–16.04.2003, Иркутск), Иркутск, 2003. – С. 4–14.
40. Бураева, Е. В. Использование эконометрических методов при исследовании факторов и резервов роста производительности труда в аграрном секторе экономики / Е. В. Бураева // Экономический анализ: теория и практика. – 2013. – №38 (341). – С. 38–48.
41. Бутырин, М.В. Оценка опасности загрязнения окружающей природной среды тяжелыми металлами в условиях Иркутской области / М.В. Бутырин, Ш.К. Хуснидинов, Т.Н. Сосницкая, Р.В. Замашников // Плодородие. – 2017. – №6 (99). – С. 45–48.
42. Ван Дием Хуа. Математическое моделирование рынка продовольствия России / Ван Дием Хуа, Н. Ю. Гаврикова, Н. С. Носкова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №11–2. – С. 201–203.
43. 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. – 2017. – Вып. 23. – С. 52–61.

44. 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, №02. – P. 109–114.

45. 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. Иваньо // Вестник БГУ. Математика, информатика. – 2017. – Вып. 3. – С. 21–31.

46. Вараница-Городовская, Ж. И. Моделирование аграрного производства на предприятиях различного уровня агрегирования с учетом особенностей затрат труда / Ж. И. Вараница-Городовская, С. А. Петрова ; науч. рук. Я. М. Иваньо. – Электрон. текстовые дан. // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : материалы Регион. науч. – практ. конф. молодых учёных (14.04.2016, Иркутск). – Иркутск, 2016. – С. 69–76.

47. Вараница-Городовская, Ж. И. Моделирование изменчивости затрат труда на сельскохозяйственных предприятиях различного уровня агрегирования на примере Иркутской области / Ж. И. Вараница-Городовская, Я. М. Иваньо // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, №5. – С. 834–839.

48. 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.

49. Вараница-Городовская, Ж. И. Оптимизация трудозатрат для производства сельскохозяйственной 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, (7–8.12.2017, Иркутск). – Иркутск, 2017. – С. 19–26.

50. Вараница-Городовская, Ж.И. Статистическая оценка трудозатрат на производство сельскохозяйственной продукции в условиях проявления маловероятных событий / Ж.И. Вараница-Городовская, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.–практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти Александра Александровича Ежевского, (15–16.11.2018, Иркутск). – Иркутск, 2018. – С. 110–118.

51. 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. – С. 64–69.

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

53. Вашукевич, Е. В. Модели оптимизации сельскохозяйственного производства с применением многомерных распределений природных событий / Е. В. Вашукевич // Вестник ИрГСХА. – 2010. – Вып. 40. – С. 128–133.

54. Волошин, Г. Я. Методы оптимизации в экономике : учеб. пособие / Г. Я. Волошин. – М. : Дело и Сервис, 2004. – 320 с.

55. Герасимов, Б. И. Экономический анализ : учеб. пособие : в 2 ч. / Б. И. Герасимов, Т. М. Коновалова, С. П. Спиридонов. – 2-е изд., стер. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 1. – 64 с.

56. Гинтер, Ю. И. Управление трудовыми ресурсами в сельском хозяйстве Таджикистана : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.05.00 / Ю. И. Гинтер. – Душанбе, 2011. – 22 с.

57. Головченко, В. Б. Прогнозирование с использованием разнородной информации / В. Б. Головченко. – Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2005. – 71 с.

58. 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 (1941-1945 гг.) и 100-летию со дня рождения А. А. Ежевского, (27–29.05.2015, Иркутск). – Иркутск, 2015. – Ч. 2. – С. 112–119.

59. 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 (15–16.04.2015, Иркутск). – Иркутск, 2015. – С. 34–39.

60. 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 (12.02.2015, Иркутск). – Иркутск, 2015. – С. 104–111.

61. Городовская, Ж. И. Модели оптимизации сочетания отраслей аграрного производства с учетом изменчивости трудовых ресурсов / Ж. И. Городовская, Я. М. Иваньо, С. А. Петрова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы III Междунар. науч.–практ. конф., посвящ. 80-летию образования ИРГСХА (27–29.05.2014, Иркутск). – Иркутск, 2014. – Ч. 2. – С. 23–29.

62. Городовская, Ж. И. Моделирование изменчивости сельского населения различных категорий на примере Иркутской области / Ж. И. Городовская, Я. М. Иваньо // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №2. – С. 12–16.

63. 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, (25–27.02.2014, Иркутск) : в 2 ч. – Иркутск, 2014. – Ч. 1. – С. 10–14.
64. 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.
65. Гулова, М. Т. Исследования математических моделей трудовых ресурсов с учетом возрастной структуры и пространственного распределения : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / М. Т. Гулова. – Душанбе, 2009. – 101 с.
66. Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы / А. С. Исаев [и др.] ; Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. – М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2015. – 262 с.
67. Дмитриева, Д. Н. Модель оптимизации структуры посевных площадей кормовых культур с учетом стохастичности урожайности / Д. Н. Дмитриева // Экономико-математические методы и вычислительная техника в сельском хозяйстве. – Новосибирск, 1975. – С. 56–60.
68. Дуброва, Т. А. Статистические методы прогнозирования в экономике / Т. А. Дуброва. – М. : Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003. – 50 с.
69. Ефанов, В. Н. Организация мониторинга и моделирование запасов популяций рыб (на примере горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walb.) : Монография / В. Н. Ефанов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2003. – 133 с.
70. Железцов, А. В. Трудовые ресурсы организации в современных условиях / А. В. Железцов // Маркетинг. – 2003. – №2. – С. 10–21.
71. Зимин, Н. Е. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия / Н. Е. Зимин, В. Н. Солопова. – М. : КолосС, 2007. – 384 с.
72. Зоркальцев, В. И. Элементы оптимизации : моногр. / В. И. Зоркальцев. –

Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2014. – 99 с.

73. Зюкин, Д. В. Совершенствование формирования и использования трудовых ресурсов в аграрном секторе : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Д. В. Зюкин. – Курск, 2011. – 200 с.

74. Иваньо, Я.М. Вероятностная оценка повторяемости засух и определение рисков аграрного производства / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, М.Н. Полковская // Вестник ИрГТУ, 2018. – Т. 22. – №4 (135). – С. 73–82.

75. Иваньо, Я. М. К вопросу прогнозирования урожайности зерновых культур / Я. М. Иваньо, Ю. А. Попкова, Ю. В. Столопова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : материалы Междунар. науч.–практ. конф. (24–25.05.2018, Иркутск). – Иркутск, 2018. – С. 203–211.

76. Иваньо, Я. М. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов / Я. М. Иваньо, М. Н. Барсукова // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2007. – №6 (55). – С. 156–161.

77. Иваньо, Я. М. Моделирование природных событий для управления региональными народно-хозяйственными объектами / Я. М. Иваньо, Н. В. Старкова. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. – 160 с.

78. 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-ой Междунар. конф., (Кишинэу, 16.11.2018, Кишинэу). – Кишинэу, 2018. – С. 330–337.

79. Иваньо, Я. М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков / Я. М. Иваньо, С. А. Петрова. – Иркутск : Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. – 177 с.

80. Иваньо, Я. М. Оптимизация использования земельных ресурсов региона в условиях неполной информации: [моногр.] / Я. М. Иваньо, Е. С. Труфанова ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : ИрГСХА, 2011. – 162 с.

81. Иваньо, Я. М. Оптимизация производства продукции в условиях

влияния техногенных событий / Я. М. Иванько, С. А. Петрова // Вестник ИрСХА, 2016. – №76. – С.160–170.

82. 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.

83. Исхаков, Т. Р. Оптимизационные модели динамики популяций : на примере популяций лесных насекомых : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.01, 03.00.02 / Т. Р. Исхаков. – Красноярск, 2004. – 123 с.

84. Каштаева, С. В. Оптимизация сельскохозяйственного производства в условиях изменяющейся исходной информации : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / С. В. Каштаева. – М., 1995. – 244 с.

85. Киселев, В. И. О разработке модели оптимизации межотраслевой структуры агропромышленного комплекса / В. И. Киселев, Н. Н. Буторин, Б. С. Арутюнян // Вопросы создания АСПР. – М., 1979. – Вып. 26. – С. 88–103.

86. Конторович, А. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент как метод прогноза структуры начальных геологических ресурсов нефти и газа / А. Э. Конторович, В. И. Демин, В. Р. Лившиц // Сборник научных трудов Пярых Сибирских Губкиных чтений. – Новосибирск, 1989. – С. 10–41.

87. Коньяков, В. В. Информационное обеспечение моделей оптимизации производства в АПК / В. В. Коньяков // Экономико-математические модели и методы в агро-экономических исследованиях. – Новосибирск, 1988. – 203 с.

88. Копенкин, Ю. И. Модель задачи стохастического программирования по оптимизации производственной структуры сельскохозяйственного предприятия / Ю. И. Копенкин // Доклады ТСХА. – М., 1971. – Вып. 163. – С. 288–295.

89. Копенкин, Ю. И. Оптимизация производственной структуры совхозов с применением элементов стохастического линейного программирования : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.607 / Ю. И. Копенкин. – М., 1972. – 20 с.

90. Копенкин, Ю. И. Стохастические модели оптимизационного планирования сельскохозяйственного производства / Ю. И. Копенкин. – М. : ТСХА, 1981. – 123 с.
91. Коротаев, А. В. Математическое моделирование и сценарное прогнозирование демографического будущего Индии / А. В. Коротаев, Ю. В. Зинькина // Восточная аналитика. – 2014. – №4. – С. 42–46.
92. Коршунова, Л. Н. Оптимизационная модель использования потенциала сезонной рабочей силы растениеводческих хозяйств / Л. Н. Коршунова // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2010. – Т. 8, №2–2. – С. 109–118.
93. Красноярск. Экологические очерки : моногр. / Р. Г. Хлебопрос [и др.]. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.
94. Кувыкина, Е. В. Параметрический анализ математических моделей в задачах линейного программирования / Е. В. Кувыкина, В. И. Кувыкин, М. Ю. Петухов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2010. – №3–1. – С. 168–172.
95. Кузнецов, В. В. Планирование и прогнозирование развития АПК / В. В. Кузнецов // Вестник Российской академии с.-х. наук. – 2000. – №4. – С. 10–12.
96. Куликов, В. Е. Моделирование хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия с учетом влияния факторов внешней среды : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / В. Е. Куликов. – Владивосток, 2006. – 157 с.
97. Ларцева, Л. В. Демографическая ситуация в Астраханской области / Л. В. Ларцева, А. А. Эрленбуш, Ю. О. Холова // Астраханский вестник экологического образования. – 2015. – №1 (31). – С. 196–199.
98. Левин, В. И. Интервальный подход к оптимизации в условиях неопределенности / В. И. Левин // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – №4. – С. 123–141.

99. Левочкин, В. Г. Прогнозирование численности населения территории с учетом экономических факторов / В. Г. Левочкин // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2008. – №4. – С. 47–57.
100. Левченко, В. А. Трудовые ресурсы – основа эффективности сельскохозяйственного производства / В. А. Левченко, О. В. Покрамович, А. Н. Семенихина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – Т. 5, №5. – С. 30–34.
101. Лещенко, Я. А. Прогнозирование численности и состава населения города как основа социально-экономического планирования / Я. А. Лещенко // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2011. – №4 (78). – С. 187–193.
102. Лившиц, В. Р. Математические модели распределения и выявления ресурсов углеводородов в крупных осадочных бассейнах : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.12 / В. Р. Лившиц. – Новосибирск, 2005. – 331 с.
103. Логинова, Н. Н. Население Республики Мордовия: геодемографическая ситуация, динамика и структура: Монография / Н. Н. Логинова; науч. ред. А. М. Носонов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 100 с.
104. Маклаков, С. В. ВРwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем / С. В. Маклаков. – М. : Диалог-МИФИ, 1999. – 256 с.
105. Мартин, Дж. Организация баз данных в вычислительных системах / Дж. Мартин. – М. : Мир, 1980. – 662 с.
106. Мартынов, А. П. Интервальная устойчивость оптимального решения задачи линейного программирования при параметрическом анализе / А. П. Мартынов, Е. А. Салимоненко, Н. И. Федорова // Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 4, №4. – С. 45–50.
107. Министерство сельского хозяйства Иркутской области : офиц. сайт. – URL <http://irkobl.ru/sites/agroline/news/196543/?type=special> (дата обращения: 14.06.2016).

108. Михайлова, С. С. Прогнозирование демографического развития Республики Бурятия / С. С. Михайлова // Вестник Бурятского государственного университета: Экономика. Право. – 2013. – Вып. 2. – С. 62–66.

109. Неверова, Г. П. Моделирование и исследование влияния внутривидовой конкуренции разных возрастных групп на характер динамики численности популяций : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 03.01.02 / Г. П. Неверова. – Биробиджан, 2011. – 145 с.

110. Нежеметдинова, Д. В. Исследование стохастической и детерминированных задач управления численностями популяций : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Д. В. Нежеметдинова. – М., 1999. – 98 с.

111. Никитина, Н. А. Ресурсообеспеченность как фактор эффективности аграрного производства / Н. А. Никитина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – №8 (58). – С. 93–96.

112. Об использовании имитационного моделирования для решения задач аграрного производства / Е. В. Вашукевич [и др.] // Природа и сельскохозяйственная деятельность человека: сб. ст. Междунар. науч.–практ. конф. (23–27.05.2011, Иркутск). – Иркутск, 2011. – Ч. 2. – С. 179–185.

113. Ожидаемая продолжительность жизни населения Иркутской области при рождении / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. – URL: http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/irkutskstat/resources/f4f94f0041f6ee66b896fc2d59c15b71/lifes2015.html (дата обращения: 12.06.2018).

114. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – М. : Высш. шк., 2002. – 544 с.

115. Петрова, С. А. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / С. А. Петрова. – Иркутск, 2015. – 207 с.

116. Петрова, С. А. Программный комплекс моделирования природных и техногенных рисков / С. А. Петрова, Я. М. Иванько // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2015. – Т. 25, №3. – С. 533–541.

117. Подходы к факторному прогнозированию внутренней миграции населения и рабочей силы России / А. Г. Коровкин [и др.] // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2009. – №.7. – С. 626–658.
118. Полковская, М. Н. Оптимизация структуры посевов с учетом изменчивости климатических параметров и биопродуктивности культур : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / М. Н. Полковская. – Иркутск, 2014. – 138 с.
119. Пузынина, Н. В. Апробация методики прогнозирования показателей социально-экономического развития Забайкальского края на основе разнородной информации / Н. В. Пузынина // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2010. – №4 (72). – С. 152–156.
120. 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. (29.03.2018, Иркутск). – Иркутск, 2018. – С. 84–92.
121. Ревуцкая, О. Л. Моделирование динамики численности популяции с возрастной и половой структурой и оптимизация промысла : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 03.01.02 / О. Л. Ревуцкая. – Биробиджан, 2011. – 162 с.
122. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации : моногр. / Я. М. Иванько [и др.] ; под ред. Я. М. Иванько ; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2012. – 199 с.
123. Рождественский, А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 271 с.
124. Романенко, И. В. Социальное и экономическое прогнозирование: конспект лекций / И. В. Романенко. – СПб.: Изд-во Михайлова В. А., 2000. – 64 с.
125. Салимоненко, Д. А. Способ решения задачи линейного программирования с переменными коэффициентами в виде параметрических функций / Д. А. Салимоненко // Вестник Башкирского университета. – 2015. – Т. 20, №1. – С. 25–29.
126. Саралинова, Д. С. Совершенствование использования трудовых

ресурсов в Чеченской Республике: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Д. С. Саралинова. – М., 2010. – 150 с.

127. Светлов, Н. М. Применение методов динамического программирования для оптимизации севооборотов / Н. М. Светлов. – М. : Мир, 1996. – 86 с.

128. Серков, А. Ф. Прогнозирование и индикативное планирование в сельском хозяйстве / А. Ф. Серков // Экономист. – 2001. – №11. – С. 81–85.

129. Скуднов, В. М. Экономические факторы, определяющие эффективность сельскохозяйственной деятельности / В. М. Скуднов // Actual science. – 2016. – Т. 2, №2. – С. 122–124.

130. Смирнова, Г. Н. Проектирование экономических информационных систем: учебник / Г. Н. Смирнова, А. А. Сорокин, Ю. Ф. Тельнов ; под. ред. Ю. Ф. Тельнова. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 512 с.

131. Солодовникова, А. М. Оптимизация рационов кормления в мясном скотоводстве / А. М. Солодовникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – №2 (46), ч. 2. – С. 220–223.

132. Станайтис, А. Население Литвы во второй половине XX – начале XXI вв. / А. Станайтис, С. Станайтис // Псковский регионологический журнал. – 2012. – №14. – С. 75–84.

133. Столбов, А. Б. Математическое и алгоритмическое обеспечение исследования региональных медико-эколого-экономических систем : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / А. Б. Столбов. – Иркутск, 2016. – 166 с.

134. Стратегия социально-экономического развития Иркутской области на период до 2030 года. – Иркутск, 2017. – URL: <http://economy.gov.ru/wps/wcm/connect/48807477-e977-4718-9c8b-9b86899d45bc/Irkut2030.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=48807477-e977-4718-9c8b-9b86899d45bc> (дата обращения: 15.06.2018).

135. Суховольский, В. Г. Оптимизационные модели межпопуляционных взаимодействий / В. Г. Суховольский, Т. Р. Исхаков, О. В. Тарасова ; отв. ред. Р. Г. Хлебопрос ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т леса им.

В. Н. Сукачева, Междунар. науч. центр исслед. экстремальных состояний организма при Президиуме Красноярского науч. центра, Сибирский федеральный ун-т. – Новосибирск : Наука, 2008. – 161 с.

136. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Х. А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 901 с.

137. Туркина, Н. Г. Территориальные различия качества жизни сельского населения Иркутской области : автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.24 / Н. Г. Туркина. – Иркутск, 2008. – 24 с.

138. Ухоботов, В. В. К вопросу о методах прогнозирования трудовых ресурсов в сельском хозяйстве региона / В. В. Ухоботов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – №3 (27). – С. 129–132.

139. Ухоботов, В. В. Воспроизводство трудовых ресурсов сельского хозяйства: теория, методология, практика : дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / В. В. Ухоботов. – Воронеж, 2012. – 346 с.

140. Федеральная служба государственной статистики / Официальная статистика/Население/Демография. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/ (дата обращения: 21.11.2017)

141. Федоров, Е. Е. Искусственные нейронные сети : моногр. / Е. Е. Федоров. – Красноармейск : ДВНЗ ДонНТУ, 2016. – 338 с.

142. Федурин, Н. И. Математическое моделирование и численные методы решения выпуклых оптимизационных задач сельскохозяйственного производства : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Н. И. Федурин. – Иркутск, 2006. – 133 с.

143. Фетюхин, И. В. Факторы развития, моделирование и прогнозирование эрозии почвы / И. В. Фетюхин, В. В. Черненко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №1(361). – С. 11–13.

144. Филиппов, Р. В. Особенности сельскохозяйственного производства в центральной экологической зоне Байкальской природной территории / Р. В. Филиппов, Н. В. Роговская // География и природные

ресурсы. – 2016. – №5. – С. 151–158.

145. Формы годовой отчетности о финансово-экономическом состоянии товаропроизводителей агропромышленного комплекса Иркутской области за 2006–2017 гг. // Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Иркутской области. – URL: https://irkobl.ru/sites/agroline/Information_dlya_sht/economika/ (дата обращения: 16.07.2018).

146. Фрисман, Е. Я. Избранные математические модели дивергентной эволюции популяций / Е. Я. Фрисман, А. П. Шапиро ; АН СССР, Дальневост. науч. центр, Ин-т автоматизации и процессов управления с Вычисл. центром. – М. : Наука, 1977. – 150 с.

147. Хамадеева, З. А. Территориальный прогноз численности населения республики Башкортостан / З. А. Хамадеева // Вестник Башкирского университета. – 2006. – Т. 11, №2. – С. 78–81.

148. Харитонова, Т. В. Роль планирования в развитии сельского хозяйства / Т. В. Харитонова, Л. Б. Винничек // Организационно-экономические проблемы функционирования и развития АПК : материалы науч.–практ. конф., посвящ. 25-летию экон. фак-та ПГСХА. – Пенза, 2004. – С. 56–60.

149. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М. : Статистика, 1977. – 160 с.

150. Численность населения // Федеральная служба государственной статистики. РОССТАТ. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicators/search?searchText=%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F> (дата обращения: 15.05.2018).

151. Шеремет, А. Д. Методика финансового анализа / А. Д. Шеремет, П. С. Сайфуллин. – М. : Инфра, 2009. – 285 с.

152. Шимараев, М.Н. Циркуляция атмосферы и климат на Байкале (1950–2007 гг.) /М.Н. Шимараев //Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования ИрГСХА. – Иркутск: НЦ РВХ

ВСНЦ СО РАМН, 2009. – С. 77–85.

153. Шориков, А. Ф. Многокритериальная оптимизация формирования ассортимента продукции предприятия / А. Ф. Шориков, Е. С. Рассадина // Экономика региона. – 2010. – №2. – С. 189–196.

154. Шпак, Т. А. Моделирование состава машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий региона / Т. А. Шпак // Равновесные модели экономики и энергетики : тр. Всерос. конф. и секции Математической экономики XIII Байкал. междунар. школы-семинара «Методы оптимизации и их приложения», (3–7.07.2005, Иркутск, Байкал). – Иркутск, 2005. – С. 239–244.

155. Экономико-математические методы и прикладные модели : учеб. пособие для вузов / В. В. Федосеев [и др.] ; под ред. В. В. Федосеева. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 391 с.

156. Эльдиева, Т. М. Современное состояние системы страхования в сельском хозяйстве России / Т. М. Эльдиева // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №1(361). – С. 20–22.

157. Энциклопедия государственного управления в России / под общ. ред. В. К. Егорова; отв. ред. И. Н. Барциц. – М. : РАГС, 2008. – Т. 2. – 520 с.

158. Югай, М. А. Исследование математических моделей потенциала трудовых ресурсов с учетом возрастного и пространственного распределения: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / М. А. Югай. – Душанбе, 2010. – 138 с.

159. Янукян, А. П. Комплексная оценка региональных социально-экономических систем и прогнозирование их развития : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05, 08.00.13 / А. П. Янукян. – Ставрополь, 2012. – 186 с.

160. Agricultural production structure optimization: a case study of major grain [Electronic resource] / LU Sha-sha [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. – 2013. – №12(1). – P. 184–197. – URL: https://ac.els-cdn.com/S209531191360218X/1-s2.0-S209531191360218X-main.pdf?_tid=343592f0-1675-4e0a-ac99-b4f5339feb83&acdnat=1537339681_87d49f11c8426b_b887256f81a5d7eeeb (дата обращения: 14.05.2017).

161. Dudushki, I. Research and optimization of agricultural machinery maintenance service [Electronic resource] / Ivaelo Dudushki, Daniel Leekassa Bekana // Annals of faculty engineering Hunedoara – International journal of engineering. – 2010. – Т. VIII, Fascicule 3. – P. 335–343. – URL: <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2010/ANNALS-2010-3-65.pdf> (дата обращения: 14.04.2017).

162. Modelling and optimization of strictly hierarchical manpower system [Electronic resource] / Andrej Skraba [et al.] // ICINCO 2015 – 12th International conference on informatics in control, automation and robotics. – Colmar, 2015. – P. 215–222. – URL: <https://www.scitepress.org/Papers/2015/55460/55460.pdf> (дата обращения: 14.05.2017).

163. Ouda, O. Optimisation of agricultural water use: a decision support system for the Gaza Strip [Electronic resource] / Omar Ouda. – Stuttgart : Ins. Für Wasserbau, 2003. – 180 p. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/262201259/download> (дата обращения: 14.05.2017).

164. Setlhare, K. Optimization and estimation study of manpower planning models / Keamogetse Setlhare. – Pretoria, 2007. – 152 p.

165. Sun, A. Modern optimization models and techniques for electric power systems operation [Electronic resource] / Andy Sun, Dzung T. Phan // Electric power system operations. – 2012. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modern-Optimization-Models-and-Techniques-for-Power-Sun-Phan/479de39f9c0a9a8802e1543d7d038b803ac175ef?tab=references> (дата обращения: 18.05.2016).

Результаты моделирования динамики изменения численности населения
Иркутской области, тыс. человек

Модель	Уравнение	R ²
Численность населения Иркутской области, всего		
Тренд	$y = -17,296t + 2830,100$	0,96
	$y = 0,2875t^2 - 25,633t + 2871,800$	0,98
Авторегрессия	$y_i = 30,774 + 0,983y_{i-1}$	0,99
	$y_i = 40,496 + 1,737y_{i-1} - 0,754y_{i-2}$	0,99
	$y_i = 45,754 + 1,702y_{i-1} - 0,728y_{i-2} + 0,006y_{i-3}$	0,99
	$y_i = -136,053 + 1,041y_{i-1} + 1,072t$	0,99
Численность городского населения Иркутской области		
Тренд	$y = -14,563t + 2261,100$	0,97
	$y = 0,2638t^2 - 22,213t + 2299,400$	0,99
Авторегрессия	$y_i = 32,726 + 0,978y_{i-1}$	0,99
	$y_i = 50,774 + 1,315y_{i-1} - 0,344y_{i-2}$	0,99
	$y_i = 70,540 + 1,201y_{i-1} - 0,373y_{i-2} + 0,132y_{i-3}$	0,99
	$y_i = -28,681 + 1,005y_{i-1} + 0,412t$	0,99
Численность сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,1632t^2 - 7,5193t + 588,590$	0,96
Авторегрессия	$y_i = 19,305 + 0,961y_{i-1}$	0,92
	$y_i = 24,556 + 1,159y_{i-1} - 0,208y_{i-2}$	0,93
	$y_i = 28,951 + 1,141y_{i-1} - 0,115y_{i-2} - 0,083y_{i-3}$	0,93
	$y_i = 125,505 + 0,779y_{i-1} - 0,642t$	0,93
Модель с оценками	$y = 430 / (0,716 + 0,044 \ln(t+1))$	0,87
Численность трудоспособного населения Иркутской области, всего		
Тренд	$y = -9,251t + 1668,600$	0,75
	$y = -0,682t^2 + 10,539t + 1569,700$	0,96
Авторегрессия	$y_i = -160,465 + 1,097y_{i-1}$	0,99
	$y_i = 16,742 + 1,987y_{i-1} - 0,998y_{i-2}$	0,99
	$y_i = 11,037 + 2,040y_{i-1} - 1,125y_{i-2} + 0,077y_{i-3}$	0,99
	$y_i = -58,530 + 1,038y_{i-1} - 0,701t$	0,99
Численность городского трудоспособного населения Иркутской области		
Тренд	$y = -8,7695t + 1365,000$	0,83
	$y = -0,4975t^2 + 5,6572t + 1292,900$	0,97
Авторегрессия	$y_i = -104,437 + 1,076y_{i-1}$	0,99
	$y_i = -24,916 + 1,699y_{i-1} - 0,681y_{i-2}$	0,99
	$y_i = -51,045 + 1,671y_{i-1} - 0,672y_{i-2} + 0,039y_{i-3}$	0,99
	$y_i = -53,275 + 1,039y_{i-1} - 0,371t$	0,99
Численность сельского трудоспособного населения Иркутской области		
Тренд	$y = -0,185t^2 + 4,882t + 276,790$	0,80
Авторегрессия	$y_i = 1,240 + 0,994y_{i-1}$	0,87
	$y_i = 18,468 + 1,372y_{i-1} - 0,435y_{i-2}$	0,89
	$y_i = 5,101 + 1,277y_{i-1} - 0,057y_{i-2} - 0,240y_{i-3}$	0,96
	$y_i = 20,117 + 0,948y_{i-1} - 0,348t$	0,91
Модель с оценками	$y = 270 / (0,760 + 0,084 \ln(t+1))$	0,91

Продолжение Приложения А

Модель	Уравнение	R ²
Численность населения Иркутской области старше трудоспособного возраста, всего		
Тренд	$y = 4,3096t + 396,020$	0,78
	$y = 0,2278t^2 - 2,2963t + 429,040$	0,89
Авторегрессия	$y_i = -18,581 + 1,053y_{i-1}$	0,98
	$y_i = -1,170 + 1,875y_{i-1} - 0,871y_{i-2}$	0,99
	$y_i = -6,200 + 2,013y_{i-1} - 1,204y_{i-2} + 0,207y_{i-3}$	0,99
	$y_i = -9,720 + 1,030y_{i-1} + 0,125t$	0,98
Численность городского населения Иркутской области старше трудоспособного возраста		
Тренд	$y = 4,0524t + 306,090$	0,89
	$y = 0,1428t^2 - 0,0890t + 326,800$	0,95
Авторегрессия	$y_i = -6,521 + 1,031y_{i-1}$	0,99
	$y_i = -1,318 + 1,818y_{i-1} - 0,813y_{i-2}$	0,99
	$y_i = -0,1598 + 1,946y_{i-1} - 1,060y_{i-2} + 0,117y_{i-3}$	0,99
	$y_i = 1,727 + 1,003y_{i-1} + 0,124t$	0,99
Численность сельского населения Иркутской области старше трудоспособного возраста		
Авторегрессия	$y_i = -6,218 + 1,077y_{i-1}$	0,91
	$y_i = 5,248 + 1,803y_{i-1} - 0,858y_{i-2}$	0,96
	$y_i = 6,442 + 1,520y_{i-1} - 0,267y_{i-2} - 0,322y_{i-3}$	0,98
	$y_i = -6,129 + 1,060y_{i-1} + 0,101t$	0,92

Результаты моделирования динамики изменения показателей естественного движения населения Иркутской области, тыс. человек

Модель	Уравнение	R ²
Численность выбывшего населения Иркутской области, всего		
Тренд	$y = 0,2688t^2 - 7,2661t + 94,396$	0,80
Авторегрессия	$y_i = 7,462 + 0,865y_{i-1}$	0,83
	$y_i = 8,149 + 1,384y_{i-1} - 0,524y_{i-2}$	0,87
	$y_i = 7,996 + 1,437y_{i-1} - 0,664y_{i-2} + 0,087y_{i-3}$	0,86
	$y_i = 0,011 + 0,906y_{i-1} + 0,374t$	0,86
Численность выбывшего городского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 2,3789t + 23,115$	0,63
	$y = 0,1495t^2 + 0,1364t + 29,096$	0,66
Авторегрессия	$y_i = 6,024 + 0,889y_{i-1}$	0,73
	$y_i = 8,233 + 1,055y_{i-1} - 0,223y_{i-2}$	0,74
	$y_i = 11,330 + 0,976y_{i-1} + 0,059y_{i-2} - 0,283y_{i-3}$	0,75
	$y_i = 8,177 + 0,573y_{i-1} + 1,304t$	0,79
Численность выбывшего сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,679t + 9,268$	0,62
	$y = -0,001t^2 + 0,6934t + 9,2297$	0,62
Авторегрессия	$y_i = 7,177 + 0,185y_{i-1} + 0,602t$	0,62
Численность прибывшего населения Иркутской области, всего		
Тренд	$y = 0,2833t^2 - 7,953t + 95,706$	0,84
Авторегрессия	$y_i = 6,190 + 0,875y_{i-1}$	0,85
	$y_i = 8,228 + 1,336y_{i-1} - 0,495y_{i-2}$	0,88
	$y_i = 7,814 + 1,373y_{i-1} - 0,589y_{i-2} + 0,064y_{i-3}$	0,86
	$y_i = -1,834 + 0,934y_{i-1} + 0,358t$	0,88
Численность прибывшего городского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 2,2034t + 20,312$	0,72
	$y = 0,0623t^2 + 1,2685t + 22,805$	0,72
Авторегрессия	$y_i = 4,503 + 0,916y_{i-1}$	0,80
	$y_i = 7,113 + 1,257y_{i-1} - 0,420y_{i-2}$	0,83
	$y_i = 6,757 + 1,292y_{i-1} - 0,565y_{i-2} + 0,128y_{i-3}$	0,82
	$y_i = 7,418 + 0,604y_{i-1} + 1,040t$	0,84
Численность прибывшего сельского населения Иркутской области		
Тренд	$y = 0,6138t + 8,2779$	0,59
	$y = 0,0731t^2 - 0,4823t + 11,201$	0,69
Авторегрессия	$y_i = 1,692 + 0,909y_{i-1}$	0,63
	$y_i = 2,913 + 1,113y_{i-1} - 0,309y_{i-2}$	0,66
	$y_i = 2,759 + 1,126y_{i-1} - 0,442y_{i-2} + 0,152y_{i-3}$	0,67
	$y_i = 3,064 + 0,525y_{i-1} + 0,426t$	0,75

Продолжение Приложения Б

Модель	Уравнение	R ²
Рождаемость в Иркутской области, всего		
Авторегрессия	$y_i = 7,217 + 0,771y_{i-1}$	0,79
	$y_i = 6,106 + 1,361y_{i-1} - 0,550y_{i-2}$	0,84
	$y_i = 4,212 + 1,346y_{i-1} - 0,509y_{i-2} + 0,035y_{i-3}$	0,86
	$y_i = 7,145 + 0,715y_{i-1} + 0,130t$	0,85
Рождаемость в городах Иркутской области		
Авторегрессия	$y_i = 6,320 + 0,737y_{i-1}$	0,75
	$y_i = 5,502 + 1,274y_{i-1} - 0,498y_{i-2}$	0,80
	$y_i = 3,711 + 1,254y_{i-1} - 0,441y_{i-2} - 0,038y_{i-3}$	0,82
	$y_i = 6,331 + 0,673y_{i-1} + 0,107t$	0,83
Рождаемость в сельской местности Иркутской области		
Авторегрессия	$y_i = 1,252 + 0,834y_{i-1}$	0,81
	$y_i = 1,325 + 1,324y_{i-1} - 0,493y_{i-2}$	0,85
	$y_i = 1,284 + 1,214y_{i-1} - 0,195y_{i-2} - 0,179y_{i-3}$	0,86
	$y_i = 1,159 + 0,800y_{i-1} + 0,024t$	0,84
Смертность в Иркутской области, всего		
Тренд	$y = -0,0565t^2 + 1,5452t + 29,510$	0,59
Авторегрессия	$y_i = 7,158 + 0,807y_{i-1}$	0,72
	$y_i = 9,980 + 1,291y_{i-1} - 0,561y_{i-2}$	0,79
	$y_i = 8,294 + 1,381y_{i-1} - 0,738y_{i-2} + 0,132y_{i-3}$	0,77
	$y_i = 10,001 + 0,783y_{i-1} - 0,131t$	0,78
Смертность в городах Иркутской области		
Тренд	$y = -0,0444t^2 + 1,222t + 22,965$	0,57
Авторегрессия	$y_i = 5,722 + 0,803y_{i-1}$	0,71
	$y_i = 7,991 + 1,306y_{i-1} - 0,583y_{i-2}$	0,79
	$y_i = 6,831 + 1,409y_{i-1} - 0,801y_{i-2} + 0,155y_{i-3}$	0,78
	$y_i = 7,817 + 0,783y_{i-1} - 0,102t$	0,77
Смертность в сельской местности Иркутской области		
Тренд	$y = -0,0119t^2 + 0,3195t + 6,561$	0,65
Авторегрессия	$y_i = 1,616 + 0,799y_{i-1}$	0,69
	$y_i = 2,139 + 1,016y_{i-1} - 0,282y_{i-2}$	0,67
	$y_i = 1,943 + 0,994y_{i-1} - 0,065y_{i-2} - 0,173y_{i-3}$	0,69
	$y_i = 2,403 + 0,756y_{i-1} - 0,029t$	0,76
Модель с оценками	$y = 6,5(0,616 + 0,129\ln(t+1))$	0,94

Численность населения Иркутской области, человек

Год	Все население			В том числе:					
	всего	трудоспособное население	население старше трудоспособного возраста	городское			сельское		
				всего	трудоспособное население	население старше трудоспособного возраста	Всего	трудоспособное население	население старше трудоспособного возраста
1990	2794858	1616594	396944	2246039	1332717	309499	548819	283877	87445
1991	2797005	1610960	408038	2249821	1327072	318029	547184	283888	90009
1992	2793856	1603742	420368	2245758	1303700	324304	548098	300042	96064
1993	2784043	1595167	427415	2208245	1296031	330172	575798	299136	97243
1994	2764225	1590485	433261	2191837	1292592	335640	572388	297893	97621
1995	2748073	1582963	438877	2180638	1286220	341098	567435	296743	97779
1996	2727374	1578874	444813	2166850	1282171	346785	560524	296703	98028
1997	2708178	1577459	447868	2152705	1281251	350872	555473	296208	96996
1998	2686284	1585338	446687	2137942	1287544	351189	548342	297794	95498
1999	2667886	1592117	442561	2124105	1294168	349066	543781	297949	93495
2000	2644022	1597847	438514	2105627	1294764	345547	538395	303083	92967
2001	2623183	1596631	438078	2080707	1294181	346507	542476	302450	91571
2002	2599675	1601756	435867	2062532	1295516	346034	537143	306240	89833
2003	2577702	1603521	432277	2044662	1292394	345338	533040	311127	86939
2004	2552298	1595742	433074	2025662	1280088	347572	526636	315654	85502
2005	2524080	1583476	433441	2001976	1266398	349890	522104	317078	83551
2006	2492143	1568842	439307	1977368	1253299	356101	514775	315543	83206
2007	2467383	1555052	447571	1959382	1240979	363311	508001	314073	84260
2008	2455410	1538483	455438	1949006	1228675	370266	506404	309808	85172
2009	2448287	1513787	466720	1943991	1209794	379634	504296	303993	87086
2010	2440391	1490850	476733	1937638	1195208	388123	502753	295642	88610
2011	2427954	1468484	487196	1932306	1178053	396098	495648	290431	91098
2012	2424355	1445549	498200	1929039	1159579	404225	495316	285970	93975
2013	2422026	1420404	508946	1925617	1138182	411536	496409	282222	97410
2014	2418348	1396518	520149	1919317	1114787	417189	499031	281731	102960
2015	2414913	1372344	530913	1906452	1095661	424817	507583	276683	106096
2016	2412800	1350549	540211	1905217	1077454	430835	508571	273095	109376
2017	2404195	1332178	548653	1894053	1061601	436133	510142	270577	112520

Общие итоги миграции населения Иркутской области, человек

Год	Число прибывших		Число выбывших		Миграционный прирост (убыль)	
	Всего	сельская местность	всего	сельская местность	Всего	сельская местность
2004	40188	11436	45390	11348	-5202	88
2005	38350	11503	43763	10927	-5413	576
2006	37513	10051	43562	10981	-6049	-930
2007	37457	10537	43143	10473	-5686	64
2008	37328	9514	41616	14731	-4288	-1036
2009	29091	7909	35152	8873	-6061	-964
2010	36571	8901	42112	10871	-5541	-1970
2011	55442	14355	62241	16554	-6799	-2199
2012	61959	15581	69204	17263	-7245	-1682
2013	67642	16846	76195	20056	-8553	-3210
2014	63238	13846	70402	17467	-7164	-3621
2015	61626	14553	67740	16721	-6114	-2168
2016	62978	16665	70124	16806	-7146	-151
2017	66678	18650	72605	17978	-5927	642

Результаты моделирования динамики изменения численности трудоспособного сельского населения муниципальных районов Иркутской области, тыс. человек

Район	Уравнение	R ²
Ангарский	$y = 0,8117t - 1630,3$	0,74
Балаганский	$y = -0,0808t + 165,35$	0,96
Бодайбинский	$y = -0,0443t + 89,979$	0,99
Братский	$y = -0,7198t + 1466,8$	0,99
Жигаловский	$y = -0,0918t + 186,85$	0,97
Заларинский	$y = -0,1409t + 291,36$	0,99
Зиминский	$y = -0,1671t + 343,9$	0,92
Иркутский	$y = 1,4784t - 2926,6$	0,95
Казачинско-Ленский	$y = -0,1167t + 238,21$	0,97
Катангский	$y = -0,0692t + 141,35$	0,98
Качугский	$y = -0,1309t + 268,85$	0,99
Киренский	$y = -0,1476t + 299,77$	0,99
Куйтунский	$y = -0,3948t + 805,58$	0,99
Мамско-Чуйский	$y = -0,0101t + 20,565$	0,73
Нижнеилимский	$y = -0,2401t + 488,11$	0,99
Нижнеудинский	$y = -0,2933t + 600,98$	0,99
Ольхонский	$y = 0,0551t - 105,83$	0,60
Слюдянский	$y = -0,0023t^3 + 13,684t^2 - 27554t + 20000000$	0,57
Тайшетский	$y = -0,3518t + 719,47$	0,99
Тулунский	$y = -0,4257t + 871,9$	0,99
Усольский	$y = -0,0159t^3 + 95,738t^2 - 192688t + 100000000$	0,54
Усть-Илимский	$y = -0,4021t + 815,25$	0,96
Усть-Кутский	$y = -0,1242t + 252,95$	0,99
Усть-Удинский	$y = -0,1656t + 338,2$	0,99
Черемховский	$y = -0,324t + 663,99$	0,97
Чунский	$y = -0,215t + 438,06$	0,98
Шелеховский	$y = 0,1848t - 365,69$	0,86
Аларский	$y = -0,296t + 607,68$	0,99
Баяндаевский	$y = -0,1965t + 401,7$	0,99
Боханский	$y = -0,2535t + 524,55$	0,99
Нукутский	$y = -0,1448t + 300,18$	0,98
Осинский	$y = -0,1021t + 217,22$	0,99
Эхирит-Булагатский	$y = -0,3903t + 802,5$	0,93

Приложение Е

Результаты прогнозирования динамики изменения численности населения и показателей естественного движения населения Иркутской области с заблаговременностью 1год, тыс. человек

Уравнение	Качество модели					Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г.
	Точность R^2	Адекватность				F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
		Случайность колебаний $K_{\max} < K,$ $v > v_{\text{расч}}$ ИЛИ $\Pi > [\Pi \cdot 1,96 \sqrt{\sigma_{\Pi}^2}]$	Равенство остатка ряда нулю $\varepsilon_{\text{ср}} / \sigma_{\text{ср}} \leq t_{\alpha}$	Соответствие нормальному закону распределения $ C_s \leq 1,5\sigma_{C_s}$ ИЛИ RS-критерий	Независимость значений остатка ряда $R \leq 1,5\sigma_R$				
<i>Население Иркутской области</i>									
$y_i = 40,496 + 1,737y_{i-1} - 0,754y_{i-2}$	0,99	5 < 8,08 16 > 4,82	0,0 ≤ 2,07	0,13 ≤ 0,62	-0,04 ≤ 0,29	$2,35 \cdot 10^{-35}$	0,02 $3,21 \cdot 10^{-15}$ $3,65 \cdot 10^{-8}$	0,28	2396,68 ± 9,42
<i>Население городское</i>									
$y_i = 50,774 + 1,315y_{i-1} - 0,344y_{i-2}$	0,99	8 < 8,08 10 > 4,82	0,0 ≤ 2,07	3,47 < 4,86 < 4,89	-0,12 ≤ 0,29	$5,18 \cdot 10^{-29}$	0,05 $3,28 \cdot 10^{-8}$ 0,04	0,04	1887,3 ± 14,61
<i>Население сельское</i>									
$y = 430 / (0,716 + 0,044 \ln(t+1))$	0,87	12 > 11	0,06 ≤ 2,06	3,34 < 4,15 < 4,71	-0,02 ≤ 0,31	$9,77 \cdot 10^{-12}$	$5,84 \cdot 10^{-30}$ $9,77 \cdot 10^{-12}$	1,87	500,45 ± 17,25
<i>Прибывшее население в Иркутской области</i>									
$y_i = 8,228 + 1,336y_{i-1} - 0,495y_{i-2}$	0,88	5 < 7,91 14 > 3,90	0,0 ≤ 2,07	0,53 ≤ 0,65	0,04 ≤ 0,31	$8,14 \cdot 10^{-10}$	0,06 $8,50 \cdot 10^{-7}$ 0,01	7,80	66,11 ± 4,53
<i>Выбывшее сельское население</i>									
$y = 0,679t + 9,268$	0,62	4 < 7,08 6 > 0,93	0,0 ≤ 2,18	0,31 ≤ 0,80	0,19 ≤ 0,42	$8,59 \cdot 10^{-4}$	$8,59 \cdot 10^{-4}$ $1,32 \cdot 10^{-5}$	5,95	19,45 ± 1,66

Продолжение приложения Е

Уравнение	Качество модели					Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г.
	Точность	Адекватность				F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
	R^2	Случайность колебаний $K_{\max} < K, v > v_{\text{расч}}$ или $\Pi > [\Pi - 1,96\sqrt{\sigma^2_{\Pi}}]$	Равенство остатка ряда нулю $\varepsilon_{\text{ср}} / \sigma_{\text{ср}} \leq t_{\alpha}$	Соответствие нормальному закону распределения $ C_s \leq 1,5\sigma_{C_s}$ или <i>RS</i> -критерий	Независимость значений остатка ряда $R \leq 1,5\sigma_R$				
<i>Рождаемость в Иркутской области</i>									
$y_i = 6,106 + 1,361y_{i-1} - 0,550y_{i-2}$	0,84	4 < 8,08 16 > 4,82	0,0 ≤ 2,06	0,15 ≤ 0,62	-0,01 ≤ 0,29	4,97 · 10 ⁻¹⁰	0,02 3,97 · 10 ⁻⁸ 1,11 · 10 ⁻³	6,62	30,46 ± 3,30
<i>Рождаемость в сельской местности</i>									
$y_i = 1,325 + 1,324y_{i-1} - 0,493y_{i-2}$	0,85	4 < 7,97 19 > 4,20	0,0 ≤ 2,07	3,47 < 4,06 < 4,89	-0,11 ≤ 0,30	3,37 · 10 ⁻¹⁰	0,05 1,55 · 10 ⁻⁷ 6,46 · 10 ⁻³	4,14	7,43 ± 0,99
<i>Смертность в сельской местности</i>									
$y = 6,5 / (0,616 + 0,129 \ln(t+1))$	0,94	2 < 6,98 9 > 0,71	0,10 ≤ 2,23	0,07 ≤ 0,81	-0,45 ≤ 0,36	5,00 · 10 ⁻⁸	4,99 · 10 ⁻¹² 5,00 · 10 ⁻⁸	1,24	6,74 ± 0,53
$y_i = 2,403 + 0,756y_{i-1} - 0,029t$	0,76	4 < 8,08 15 > 4,82	0,0 ≤ 2,06	0,17 ≤ 0,62	-0,004 ≤ 0,29	3,53 · 10 ⁻⁸	7,55 · 10 ⁻³ 5,41 · 10 ⁻⁸ 0,01	2,07	6,64 ± 0,96
$y_i = 1,616 + 0,799y_{i-1}$	0,69	7 < 8,08 12 > 4,82	0,00 ≤ 2,06	0,41 ≤ 0,62	0,22 ≤ 0,28	7,92 · 10 ⁻⁸	0,07 7,92 · 10 ⁻⁸	7,38	7,00 ± 1,06

Приложение Ж

Результаты прогнозирования динамики изменения трудозатрат на производство основных видов продукции различными группами предприятий с заблаговременностью 1год, чел.-час./ц

Группа предприятий/Уравнение	Качество модели					Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г.
	Точность	Адекватность				F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
	R^2	Случайность колебаний $K_{\max} < K$, $v > v_{\text{расч}}$ ИЛИ $\Pi > [\Pi \cdot 1,96 \sqrt{\sigma_{\Pi}^2}]$	Равенство остатка ряда нулю $\varepsilon_{\text{ср}} / \sigma_{\text{ср}} \leq t_{\alpha}$	Соответствие нормальному закону распределения $ Cs \leq 1,5\sigma Cs$ или RS-критерий	Независимость значений остатка ряда $R \leq 1,5\sigma_R$				
<i>Зерно</i>									
<i>Малые</i> $x=2,168-0,142t$	0,66	3<6,86 4>0,50	0,00≤2,23	2,96<3,86<4,14	0,27≤0,44	$1,28 \cdot 10^{-3}$	$3,42 \cdot 10^{-6}$ $1,2 \cdot 10^{-3}$	4,53	0,32±0,04
<i>Молоко</i>									
<i>Малые</i> $x=1,62/(0,072+0,061t)$	0,93	5<6,86 4>0,50	0,30≤2,23	0,38≤0,83	0,29≤0,44	$1,80 \cdot 10^{-7}$	0,07 $1,80 \cdot 10^{-7}$	1,07	1,86±0,20
<i>Средние</i> $x=6,810-0,249t$	0,50	3<6,86 7>0,50	0,00≤2,23	0,18≤0,83	-0,28≤0,44	0,01	$3,62 \cdot 10^{-7}$ 0,01	9,27	3,57±0,18
<i>Средние</i> $x=2,10/(0,277+0,022t)$	0,59	3<6,86 7>0,50	0,13≤2,23	0,10≤0,83	-0,21≤0,45	$2,19 \cdot 10^{-3}$	$2,29 \cdot 10^{-5}$ $2,19 \cdot 10^{-3}$	7,74	3,71±0,24
<i>Крупные</i> $x=1,46/(0,273+0,057t)$	0,84	5<6,86 5>0,50	0,54≤2,23	0,23≤0,83	-0,14≤0,47	$1,06 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-4}$ $1,06 \cdot 10^{-5}$	0,80	1,44±0,12
<i>Крупные</i> $x=4,07 \exp(-0,082t)$	0,95	5<6,86 5>0,50	1,06≤2,23	2,96<3,34<4,14	-0,21≤0,45	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$3,50 \cdot 10^{-9}$	0,60	1,40±0,10

Продолжение Приложения Ж

Группа предприятий/Уравнение	Качество модели					Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г.
	Точность	Адекватность				F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
	R^2	Случайность колебаний $K_{\max} < K$, $v > v_{\text{расч}}$ ИЛИ $\Pi > [\Pi - 1,96\sqrt{\sigma^2_{\Pi}}]$	Равенство остатка ряда нулю $\varepsilon_{\text{ср}} / \sigma_{\text{ср}} \leq t_{\alpha}$	Соответствие нормальному закону распределения $ Cs \leq 1,5\sigma Cs$ или RS-критерий	Независимость значений остатка ряда $R \leq 1,5\sigma_R$				
Мясо КРС									
<i>Малые</i> $x = 86,447 - 5,428t$	0,71	3 < 6,86 6 > 0,50	0,00 ≤ 2,23	0,38 ≤ 0,83	0,06 ≤ 0,47	$6,16 \cdot 10^{-4}$	$9,12 \cdot 10^{-7}$ $6,16 \cdot 10^{-4}$	11,46	15,89 ± 0,91
<i>Средние</i> $x = 51,011 - 2,690t$	0,87	3 < 6,86 6 > 0,50	0,00 ≤ 2,23	0,03 ≤ 0,83	0,23 ≤ 0,45	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-9}$ $1,02 \cdot 10^{-5}$	0,19	16,05 ± 0,58
<i>Крупные</i> $x = 33,415 - 1,836t$	0,85	4 < 6,86 7 > 0,50	0,00 ≤ 2,23	0,50 ≤ 0,83	0,06 ≤ 0,47	$1,84 \cdot 10^{-5}$	$3,94 \cdot 10^{-9}$ $1,84 \cdot 10^{-5}$	12,86	9,55 ± 0,52
<i>Крупные</i> $x = 11,74 / (0,248 + 0,056t)$	0,88	4 < 6,86 6 > 0,50	-0,05 ≤ 2,23	0,57 ≤ 0,83	0,40 ≤ 0,40	$2,68 \cdot 10^{-6}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$ $2,68 \cdot 10^{-6}$	2,43	12,03 ± 0,63

Результаты прогнозирования динамики изменения годовых трудозатрат на производство растениеводческой продукции предприятиями Иркутской области с заблаговременностью 1год по факторной модели, чел.-час.

Уравнение	Качество модели					Уровень значимости		Расхождение реальных данных и данных ретроспективного прогноза, %	Прогноз на 2018 г. для осадков с вероятностями 0,05 0,50 0,95
	Точность	Адекватность				F-критерия Фишера	t-статистик Стьюдента $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$		
	R ²	Случайность колебаний $K_{\max} < K,$ $v > v_{\text{расч}}$ или $P > [P \cdot 1,96 \sqrt{\sigma^2_{\text{п}}}]$	Равенство остатка ряда нулю $\varepsilon_{\text{ср}} / \sigma_{\text{ср}} \leq t_{\alpha}$	Соответствие нормальному закону распределения $ Cs \leq 1,5\sigma Cs$ или RS-критерий	Независимость значений остатка ряда $R \leq 1,5\sigma_R$				
<i>ЗАО «Иркутские семена»</i>									
$X = (0,389 + 0,433 \frac{o_2}{o_2} + 0,160 \frac{o_5}{o_5}) \cdot \bar{X}$	0,90	2<6,28 6>0,12	0,00≤2,36	0,06≤0,90	-0,23≤0,58	2,88·10 ⁻³	8,49·10 ⁻³ 4,34·10 ⁻³ 0,13	9,04	101771 111715 132995
$X = (0,229 + 0,647 \frac{o_2}{o_2} + 0,116 \frac{o_{11}}{o_{11}}) \cdot \bar{X}$	0,91	3<6,28 5>0,12	0,00≤2,36	0,51≤0,90	-0,30≤0,56	2,34·10 ⁻³	0,17 1,37·10 ⁻³ 0,10	0,58	106055 113401 129114
<i>ЗАО «Железнодорожник»</i>									
$X = (0,838 - 0,174 \frac{o_4}{o_4} + 0,336 \frac{o_{12}}{o_{12}}) \cdot \bar{X}$	0,83	2<6,26 6>0,12	0,00≤2,36	0,67≤0,90	-0,24≤0,58	0,01	1,08·10 ⁻³ 0,08 9,68·10 ⁻³	4,66	61875 70017 85585
$X = (0,778 - 0,157 \frac{o_2}{o_2} + 0,378 \frac{o_{12}}{o_{12}}) \cdot \bar{X}$	0,80	2<6,26 6>0,12	0,00≤2,36	0,48≤0,90	-0,30≤0,56	0,02	1,25·10 ⁻³ 0,13 8,35·10 ⁻³	4,67	59744 68906 86426

**Фрагмент кода программного комплекса « Моделирование трудозатрат»,
модуль «Группировка предприятий»**

```

procedure TForm40.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
if RadioButton1.Checked then
DBGrid2.DataSource := DSMicro;
end;
...
procedure TForm40.RadioButton4Click(Sender: TObject);
begin
if RadioButton4.Checked then
DBGrid2.DataSource := DSkрупnye;
...
fDM.Tchislennost.Append;
Form41.ShowModal;
end;
procedure TForm40.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
Close;
...
procedure TForm44.StringGrid1Click(Sender: TObject);
var i,j:Integer;
Cells[j, i]:=vExcel.WorkSheets[10].Cells[i+17, j+1];
vExcel.WorkBooks[1].close(False); //закрытие книги
vExcel.Application.Quit;
Chart1.Series[0].Clear; //Программная очистка серии(графика)
For i:=1 to 16 do//Программное заполнение серии–построение графика
...
Chart1.Series[0].AddXY(StrToFloat(StringGrid1.Cells[j,16]),
StrToFloat(StringGrid1.Cells[j,13]),"c1TeeColor);
end;
Form45.ShowModal;
...
end;
end.

```

**Фрагмент кода программного комплекса «Моделирование трудозатрат»,
модуль «Статистика»**

```
...
procedure TForm45.FormCreate(Sender: TObject);
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:='Год';
StringGrid1.Cells[0,1]:='2006';
StringGrid1.Cells[0,2]:='2007';
StringGrid1.Cells[0,3]:='2008';
StringGrid1.Cells[0,4]:='2009';
StringGrid1.Cells[0,5]:='2010';
...
StringGrid1.Cells[0,9]:='2014';
StringGrid1.Cells[0,10]:='2015';
StringGrid1.Cells[0,11]:='2016';
StringGrid1.Cells[0,12]:='2017';
StringGrid1.Cells[0,13]:='Сумма';
StringGrid1.Cells[0,14]:='Среднее';
StringGrid1.Cells[0,15]:='MAX';
StringGrid1.Cells[0,16]:='MIN';
StringGrid1.Cells[5,0]:='Коэф. вариации';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Микро';
StringGrid1.Cells[2,0]:='Малые';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Средние';
StringGrid1.Cells[4,0]:='Крупные';
StringGrid1.Cells[5,0]:='Сумма';
StringGrid1.Cells[6,0]:='Среднее';
StringGrid1.Cells[7,0]:='Max';
StringGrid1.Cells[8,0]:='Min';
StringGrid1.Cells[9,0]:='Коэф. вариации';
...
end;
end.
```

**Фрагмент кода программного комплекса «Моделирование трудозатрат» ,
модуль «Оптимизация»**

```

procedure TForm25.Button1Click(Sender: TObject);
var i,j:Integer;
begin
vExcel:=CreateOleObject('Excel.Application');
vExcel.Visible:=False;
vExcel.Workbooks.Add(ExtractFilePath(Application.ExeName)+'ИС.xlsm');
...
with StringGrid1 do
For i:=1 To 99 do
For j:=1 to 10 do
Cells[j, i]:=vExcel.WorkSheets[3].Cells[i+300, j+0];
vExcel.WorkBooks[1].close(False); //закрытие книги
vExcel.Application.Quit;
...
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:='№';
StringGrid1.Cells[0,1]:='1';
...
StringGrid1.Cells[0,100]:='100';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Вероятность трудозатрат зерновые';
StringGrid1.Cells[2,0]:='Зерновые';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Урожайность';
StringGrid1.Cells[4,0]:='Зерновые x1';
StringGrid1.Cells[5,0]:='Зернобобовые x2';
StringGrid1.Cells[6,0]:='Картофель x3';
...
StringGrid1.Cells[9,0]:='Вспомогательная переменная x6';
StringGrid1.Cells[10,0]:='Целевая функция';
...
Form42.ShowModal;
end;
end.

```

Приложение М

Пример модели оптимизации трудозатрат для медианы целевой функции применительно к ООО «Еланское» Жигаловского района Иркутской области

№ п/п	Суть ограничения	Ед. изм.	Зерновые (товарные), ц	Зерновые (кормовые), ц	Зерноотходы, ц	Солома, ц	Свиноматки, голов	Свины на выращивании и откорме, голов	Вспомогательная переменная	Найденная величина	Знак	Ограничение
			x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇			
			ц	ц	ц	ц	гол	гол				
1	Посевная площадь	га	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	226,1	≤	230,0
2	Оплата труда	руб.	1887,0	1887,0	0,0	0,0	7719,3	7719,3	0,0	862020,7	≤	874000,0
3	Зерно всего	ц	9,3	9,3	0,9	6,5	0,0	0,0	0,0	80985,5	≥	2135,0
4	Мясо	ц	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0	46,0	≥	46,0
5	Кормовые единицы	ц	0,0	9,0	0,7	0,2	-37,8	-21,3	0,0	980,4	≥	0,0
6	Переваримый протеин	кг	0,0	120,0	11,3	1,0	-399,2	-180,3	0,0	0,0	≥	0,0
7	Концентраты, мин.	ц. к. ед.	0,0	9,0	0,7	0,0	-6,1	-4,5	0,0	0,0	≥	0,0
8	Концентраты, макс.	ц. к. ед.	0,0	9,0	0,7	0,0	-8,7	-6,6	0,0	-144,6	≤	0,0
9	Ограничение на вспомогательную переменную	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	=	1,0
10	Минимальная площадь товарных зерновых	га	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	205,0	≥	205,0
11	Минимально реализовать	ц	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	27,0	≥	27,0
12	Солома	ц	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	≥	0,5
Затраты труда		чел.-час.	43,0	27,0	0,0	0,0	123,0	119,0	0,0	→		min

Решение	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	ЦФ
		208,6	0,5	635,7	10123,1	27,0	34,0	0,0

Примечание: коэффициенты в матрице соответствуют размерности, определенной как результат деления размерности строк на размерность столбцов.

Пример модели оптимизации трудозатрат с точечным прогнозом показателей для ООО «Авангард» Куйтунского района
Иркутской области

№ п/п	Суть ограничения	Ед. изм.	Зерновые, ц	Кормовые, ц	Молоко, ц	Мясо, ц	Вспомогательная переменная	Найденная величина	Знак	Ограничение
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5			
			ц	ц	ц	ц				
1	Посевная площадь	га	0,05	0,02	0,00	0,00	600,00	2800,00	\leq	3000,00
2	Оплата труда	руб.	108,66	4,77	265,93	1710,18	0,00	7040073,56	\leq	7742000,00
3	Содержание ОС	руб.	59,33	0,00	30,45	39,16	71000,00	2687000,00	\leq	3088000,00
4	Производство зерна минимальное	ц	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40000,00	\geq	40000,00
5	Производство кормовых минимальное	ц	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	\geq	10000,00
6	Посевные площади зерновых минимальные	га	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	\leq	2000,00
7	Посевные площади кормовых минимальные	га	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	200,00	\leq	200,00
8	Производство мяса минимальное	ц	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	383,00	\geq	383,00
9	Производство молока минимальное	ц	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	7487,00	\geq	7487,00
10	Реализация	ц	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	57870,00	\geq	52000,00
11	Ограничение на вспомогательную переменную	-	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	=	1,00
Затраты труда		чел.-час.	0,39	0,31	2,34	14,48	0,00	→		min

Решение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	ЦФ
	40 000,00	10 000,00	7 487,00	383,00	1,00	41 918,95

Примечание: коэффициенты в матрице соответствуют размерности, определенной как результат деления размерности строк на размерность столбцов.

Пример фрагмента моделирования трудозатрат с вероятностными параметрами для ЗАО «Иркутские семена»
Иркутского района Иркутской области

№	Вероятность	Урожайность зерновых, ц/га	Затраты на зерновые, чел.-час./ц	Валовой сбор, ц					Трудозатраты, чел.-час. (значения целевой функции)
				Зерновые, x_1	Зернобобовые, x_2	Картофель, x_3	Семена многолетних трав, x_4	Свинина, x_5	
1	0,82	31,51	0,722	69747	5659	87920	345	565	147316
2	0,50	26,83	0,624	70918	4488	87920	345	565	140427
3	0,98	38,16	0,859	69909	9641	87920	425	313	153441
4	0,04	19,33	0,465	70918	4488	87920	345	565	129151
5	0,36	25,25	0,591	70918	4488	87920	345	565	138087
6	0,58	27,81	0,644	70918	4488	87920	345	565	141846
7	0,71	29,63	0,682	69747	5659	87920	345	565	144526
8	0,98	38,43	0,865	69649	10045	87920	425	295	153425
9	0,15	22,22	0,527	70918	4488	87920	345	565	133548
10	0,004	15,99	0,392	70918	4488	87920	345	565	123974
11	0,33	24,76	0,580	70918	4488	87920	345	565	137307
12	0,85	32,12	0,734	69747	5659	87920	345	565	148153
13	0,26	23,93	0,563	70918	4488	87920	345	565	136101
14	0,09	20,94	0,499	70918	4488	87920	345	565	131562
15	0,82	31,51	0,722	69747	5659	87920	345	565	147316
16	0,83	31,59	0,723	69747	5659	87920	345	565	147386
17	0,77	30,57	0,702	69747	5659	87920	345	565	145921
18	0,61	28,25	0,654	70918	4488	87920	345	565	142555
19	0,78	30,73	0,705	69747	5659	87920	345	565	146131
20	0,43	26,01	0,607	70918	4488	87920	345	565	139222
21	0,29	24,28	0,570	70918	4488	87920	345	565	136598
22	0,99	38,67	0,869	69422	10398	87920	425	280	153323

Приложение П

Пример модели оптимизации трудозатрат для ЗАО «Железнодорожник» Усольского района Иркутской области при средних значениях трудозатрат на единицу продукции по кормовым культурам, картофелю и молоку, а также оценке трудозатрат по зерновым культурам и производству мяса крупного рогатого скота с помощью гиперболических трендов

№ п/п	Суть ограничения	Ед. изм.	Зерновые, ц	Картофель, ц	Кормовые, ц	Сено многолетних трав, ц	Кукуруза на зеленый корм, ц	Молоко, ц	Мясо КРС, ц	Вспомогательная переменная	Найденная величина	Знак	Ограничение
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈			
			ц	ц	ц	ц	ц	ц	ц				
1	Посевная площадь	га	0,034	0,004	0,011	0,012	0,013	0,000	0,000	1340,600	6702,960	≤	6703,000
2	Оплата труда	руб.	159,810	120,104	12,000	350,013	8,100	836,301	3891,703	66000,000	120318004,880	≤	129861000,000
3	Содержание ОС	руб.	341,302	90,901	70,003	277,804	50,312	120,300	838,402	2900000,000	70309948,200	≤	76622000,000
4	Производство зерна минимальное	ц	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	77813,000	≥	77813,000
5	Производство картофеля минимальное	ц	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	69890,000	≥	69890,000
6	Производство кормовых минимальное	ц	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	100000,000	≥	100000,000
7	Производство сена минимальное	ц	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10800,000	≥	10800,000
8	Производство кукурузы минимальное	ц	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	248600,000	≥	248600,000
9	Производство молока минимальное	ц	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	83959,000	≥	83959,000
10	Производство мяса минимальное	ц	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	5725,000	≥	5725,000
11	Минимальная площадь под зерновые	га	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2664,830	≤	2810,000
12	Минимальная площадь под картофель	га	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	299,980	≤	300,000
13	Минимальная площадь под кормовыми	га	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1119,310	≤	1279,000
14	Реализовано молока	ц	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	83959,000	≥	65925,000
15	Реализовано мяса	ц	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	5725,000	≥	2134,000
16	Ограничение на вспомогательную переменную	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1000,000	0,000	≤	1,000
Затраты труда		чел.-час.	0,380	0,380	0,049	0,462	0,010	1,531	9,070	15000,000	→		min

Решение	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	ЦФ
		77813,000	69890,000	100000,000	10800,000	248600,000	83959,000	5725,000	0,000

Примечание: коэффициенты в матрице соответствуют размерности, определенной как результат деления размерности строк на размерность столбцов.

Приложение Р



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
Высшего образования
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО
(ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ)
664038 пос. Молодежный
Иркутский район, Иркутская область
Телефон (3952) 23-73-30, Факс 23-74-18
E-mail: rector@igsba.ru, www.igsba.ru
ОГРН 1023801535658
ИНН/КПП 3811024304/382701001
09.07.2019 № 615/03

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

к.э.н., доцент Ю.Е. Вашукевич
«24» июля 2019 г.

Справка

об использовании результатов диссертационной работы «Модели и алгоритмы оптимизации трудозатрат в аграрном производстве» в учебном процессе ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»

Разработанные Вараница-Городовской Ж.И. модели прогнозирования трудовых ресурсов, модели оптимизации трудозатрат в аграрном производстве и алгоритмы используются в дисциплинах: «Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений», «Моделирование производственных процессов в условиях риска» для направления подготовки магистрантов 09.04.03 – Прикладная информатика и «Математическое моделирование» для направления подготовки бакалавров 09.03.03 – Прикладная информатика.

« 24 » июля 2019 г.

Проректор по учебной работе



В.Ю. Просвирнин

Справка

об использовании разработок по повышению эффективности использования трудовых ресурсов для производства аграрной продукции

Разработанные профессором Иркутского ГАУ Иваньо Я.М. и соискателем Вараница-Городовской Ж.И. математическое и алгоритмическое обеспечение для моделирования трудозатрат рекомендуется использовать сельскохозяйственными товаропроизводителями для оптимизации затрат труда на производство аграрной продукции в условиях природных рисков,

Результаты построения оптимальных планов производства на примере аграрных предприятий региона показали, что предлагаемые оптимизационные модели позволяют сокращать трудозатраты на производство продукции на 7-32%, что способствует улучшению управления производством разных по численности работников групп предприятий.

Заместитель министра
сельского хозяйства Иркутской области



20.06.2019г.

[Handwritten signature]
Н.Н. Дмитриев