

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

На правах рукописи

Горбанов Илья Алексеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ СНЕКОВ ИЗ
БАРАНИНЫ С УЧЁТОМ ПРИЖИЗНЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ
МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ**

4.3.3. Пищевые системы

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Гиро Татьяна Михайловна

Саратов – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ	14
1.1 Рынок мясных снеков в России и потребительские предпочтения	14
1.2 Обзор современных методов производства мясных снеков	16
1.3 Роль стартовых культур в обеспечении качества и безопасности ферментированных мясных снеков	19
1.4 Пищевые и технологические характеристики основных видов мяса как сырья для производства мясных снеков	22
1.5 Качественные показатели баранины как сырья для производства мясных снеков	24
1.6 Прижизненное формирование минерального состава мышечной ткани овец	30
1.7 Особенности применения пребиотических и пробиотических добавок в прижизненном формировании показателей качества мышечной ткани овец	33
1.8 Особенности бифидогенной добавки «ЛактуВет-1»	36
Выводы по главе	39
2 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	41
2.1 Структура и программа экспериментальных исследований	41
2.2 Объекты и методы исследований	45
Выводы по главе	53
3 ПРИЖИЗНЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ОВЕЦ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ БАРАНИНЫ	54
3.1 Результаты экспериментальных исследований прижизненного	

формирования показателей качества мышечной ткани овец	54
3.2 Исследование жирнокислотного состава.....	59
3.3 Гистологическое исследование мышечной ткани овец	61
3.4 Пищевая ценность и физико-химические свойства баранины.....	66
3.5 Органолептическая оценка баранины	74
3.6 Микробиологические показатели баранины	76
3.7 Исследование баранины на содержание токсичных элементов.....	77
Выводы по главе.....	79
4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ	
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ	
ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ И ОЦЕНКЕ ИХ	
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ	
	81
4.1 Технологический процесс производства мясных снеков из	
баранины	81
4.2 Многофакторное обоснование рецептуры посолочной смеси	
методом поверхностей отклика	86
4.3 Анализ физико-химических показателей мясных снеков из	
баранины в процессе конвективной сушки	99
4.4 Анализ химического состава и пищевой ценности мясных снеков	
из баранины.....	104
4.5 Математическая модель и обоснование процесса сушки мясных	
снеков из баранины	113
4.6 Кинетика процесса конвективной сушки мясных снеков из	
баранины	121
4.7 Анализ структурно-механических свойств мясных снеков	
из баранины.....	134
4.8 Органолептические свойства мясных снеков из баранины	139
4.9 Исследование микробиологической безопасности и	
окислительной устойчивости мясных снеков из баранины в	
процессе хранения.....	141

Выводы по главе.....	144
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ ИЗ БАРАНИНЫ.....	147
5.1 Экономическая оценка производства мясных снеков в технологической цепочке «сырьё – продукт».....	147
Выводы по главе.....	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	159
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	163
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	164
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	165
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	166
ПРИЛОЖЕНИЯ	184

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Производство мясной продукции повышенной пищевой ценности, в том числе за счёт оптимизации её минерального состава, является одним из перспективных направлений развития агропромышленного комплекса России. В условиях решения задач по обеспечению продовольственной безопасности, реализации политики импортозамещения и укрепления экспортных позиций отечественной продукции особое значение приобретает выпуск конкурентоспособных продуктов, ориентированных на потребности различных групп населения, в том числе проживающих в регионах с дефицитом микронутриентов. Указанные ориентиры согласуются с положениями Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 (в ред. от 10.03.2025 № 141) о необходимости обеспечения населения качественной и безопасной пищевой продукцией, контроля её соответствия обязательным требованиям, а также внедрения конкурентоспособных отечественных технологий и развития производства материально-технических ресурсов для выпуска сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [1]. В этом контексте возрастает интерес к технологиям, обеспечивающим управляемое формирование и сохранение требуемого минерального профиля мясного сырья на всех этапах производства – от прижизненного периода до выпуска готовой продукции.

Проблема минеральной обеспеченности населения актуальна для различных возрастных групп, в том числе для детей, подростков и взрослого населения. По данным эпидемиологического исследования [2], проведённого среди детей в России, в современных рационах отмечается дефицит минеральных веществ: фактическое среднесуточное потребление кальция составляет лишь 22–31,1 % от рекомендуемой нормы, кроме того, у части детей отмечается недостаточное потребление магния и выраженный дисбаланс кальция и магния с фосфором. К основным причинам относят сниженное потребление молочных и мясных продуктов, а также зелёных овощей. Эта проблема усугубляется высокой

распространённостью низкого статуса витамина D: по данным многоцентрового регистрового исследования, проведённого среди жителей России в возрасте 18–50 лет, 84,3 % обследованных имели дефицит или недостаточность (дефицит – 56,4 %, недостаточность – 27,9 %), что ухудшает усвоение кальция и фосфора, тогда как оптимальный уровень отмечен у 15,7 % [3]. Следовательно, актуальной задачей является расширение ассортимента повседневных пищевых продуктов, способных вносить вклад в коррекцию дефицита минеральных веществ без существенного изменения привычных пищевых стереотипов. К перспективным группам таких продуктов относятся мясные изделия длительного хранения, в том числе мясные снеки, удобные для дозированного потребления и включения в привычный рацион. В структуре ассортимента мясных снеков значимое место занимают изделия из баранины, что обусловлено как сложившимися потребительскими предпочтениями, так и технологической пригодностью данного вида сырья к посолу и сушке.

Однако существующие мясные снеки из баранины без добавления минеральных компонентов дают минимальный вклад в покрытие потребности в кальции и магнии: типичная порция 30 г содержит примерно 3–4 мг кальция и около 9–12 мг магния [4], что соответствует лишь 0,3–0,4 % суточной потребности в кальции и примерно 2–3 % – в магнии у взрослых (при нормативе 1000 мг/сут для кальция и 400 мг/сут для магния) [5]. В этих условиях совершенствование технологий производства мясных снеков из баранины, направленное на повышение их макроэлементной ценности при сохранении привычных органолептических характеристик и длительных сроков хранения, является актуальной задачей.

При решении указанной задачи принципиальное значение имеет выбор вида мясного сырья и возможность целенаправленного формирования его макроэлементного состава на прижизненном этапе. При производстве мясных снеков из баранины предпочтительно используют сырьё, полученное от овец мясо-сального направления, характеризующееся оптимальным содержанием полноценного белка и жира, а также благоприятными органолептическими показателями (цвет, вкус, аромат, консистенция). В то же время по содержанию

макроэлементов баранина вносит ограниченный вклад в покрытие суточной потребности человека. Следовательно, для получения мясных снеков из баранины с повышенной минеральной ценностью по содержанию макроэлементов необходимо научно обосновать технологические решения, объединяющие прижизненный этап и последующую переработку сырья.

В связи с этим исследование сосредоточено, во-первых, на прижизненном формировании целевого макроэлементного состава мышечной ткани овец эдильбаевской породы путём включения в рацион бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», а во-вторых, на усовершенствовании технологического процесса производства мясных снеков из баранины, обеспечивающего сохранение прижизненно сформированных свойств сырья и стабильное качество готового продукта.

Данное направление соответствует задачам Государственной программы развития сельского хозяйства (Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 № 717) по повышению конкурентоспособности продукции АПК [6].

Важным преимуществом используемой добавки «ЛактуВет-1» является сочетание двух физиологически значимых компонентов: лактулозы (бифидогенный пребиотик) и биодоступных форм макроэлементов (кальция, фосфора, магния и калия), способствующих накоплению жизненно важных минеральных веществ в мышечной ткани и, как следствие, повышению пищевой ценности получаемого мясного сырья. Такой подход соответствует концепции прижизненного формирования целевых свойств продукции, что отвечает современным требованиям рынка здорового питания.

Работа выполнена в рамках научного направления № 01201151793 «Ресурсосберегающие технологии безопасных пищевых продуктов» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет).

Таким образом, для комплексного решения поставленных задач и повышения эффективности производства мясных изделий с повышенной пищевой ценностью необходимы системные исследования в области пищевых технологий.

Степень разработанности темы. Научные основы технологий производства продуктов питания из мясного сырья представлены в трудах отечественных и зарубежных учёных, среди которых специалисты из России: Лисицын А. Б., Хайруллин М. Ф., Журавская Н. К., Тутельян В. А., Ребезов М. Б., Чернуха И. М., Кудряшов Л. С., Гиро Т. М. и др., а также зарубежные исследователи Toldra F., Ertbjerg P., Puolanne E., Bourne M. C. и др.

Вопросы влияния кормовых добавок на качественные показатели мясного сырья рассмотрены в работах отечественных и зарубежных исследователей, среди которых Юлдашбаев Ю. А., Молчанов А. В., Сложенкина М. И., Bai X., Juniper D. T., Shoukry M. M. и др.

Систематизация результатов опубликованных исследований свидетельствует о необходимости дальнейшей экспериментальной проработки вопросов прижизненного формирования заданного макроэлементного состава мышечной ткани овец при использовании бифидогенных кормовых добавок и обеспечения его сохранности в готовых мясных снеках.

Цель работы – совершенствование технологии мясных снеков из баранины с учётом прижизненного формирования макроэлементного состава мышечной ткани овец при применении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» и обеспечением сохранности сформированных показателей на этапах последующей переработки.

Задачи исследования:

1. Проанализировать научно-техническую литературу и патентную информацию по теме исследования.

2. Исследовать влияние бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на прижизненное формирование в мышечной ткани овец содержания макроэлементов (Ca, Mg, P, K) и показателей качества мясного сырья.

3. Обосновать уровни внесения рецептурных компонентов посолочной смеси для мясных снеков на основе многофакторного эксперимента и статистической обработки данных, а также оценить пищевую ценность и сохранность витаминов и минеральных веществ в контрольных и опытных образцах после сушки и в

процессе хранения с расчётом доли от рекомендуемой суточной нормы потребления для взрослых.

4. Обосновать параметры режима конвективной сушки мясных снеков из баранины на основе многофакторного эксперимента и статистической обработки данных.

5. Теоретически и экспериментально исследовать кинетику и процессы массообмена при конвективной сушке мясных снеков из баранины с обоснованием операционного критерия окончания процесса по скорости обезвоживания, соответствующего достижению целевого значения активности воды ($a_w \leq 0,85$).

6. Выполнить комплексную экономическую оценку эффективности технологической цепочки «сырьё – продукт».

7. Разработать нормативно-техническую документацию, провести опытно-промышленные испытания технологии производства мясных снеков, внедрить основные результаты исследования.

Объект исследований – мясное сырьё, полученное от овец эдильбаевской породы при включении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на прижизненном этапе, и продукт его переработки – мясные снеки.

Предмет исследований – закономерности формирования и сохранности макроэлементного состава мышечной ткани и показателей качества мясных снеков под влиянием факторов прижизненного формирования (применения бифидогенной добавки «ЛактуВет-1») и параметров технологического процесса (посола, режимов конвективной сушки).

Научная новизна работы:

– получены новые температурно-временные закономерности кинетики конвективной сушки мясных снеков из баранины, обогащённой макроэлементами, описывающие влияние режимов технологических воздействий (температура сушильного агента, длительность сушки) на скорость массоотдачи, формирование остаточной влажности и эффективный коэффициент влаго-диффузии;

– теоретически и экспериментально установлено, что прижизненное формирование макроэлементного профиля мышечной ткани за счёт включения

бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы (опытная группа с добавкой) по сравнению с традиционным рационом без добавки (контрольная группа) обеспечивает повышение содержания макроэлементов в баранине: кальция – на 55,1 % ($P < 0,001$), магния – на 40,0 % ($P < 0,01$), фосфора – на 27,3 % ($P < 0,01$), калия – на 12,9 % ($P < 0,05$).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в установлении закономерностей прижизненного формирования целевого макроэлементного состава мышечной ткани овец и в теоретическом обосновании механизмов его сохранности на стадиях посола, сушки и хранения. Обоснованы кинетические закономерности процесса конвективной сушки тонких ломтиков и критерии его завершения. Сформирована основа выбора технологических параметров и управления качеством при производстве мясных снеков.

Практическая значимость работы заключается в обосновании технологических параметров производства мясных снеков из баранины на стадиях посола и конвективной сушки.

Обоснованы уровни внесения рецептурных компонентов посолочной смеси (соль, сахар, стартовые культуры) для производства мясных снеков из баранины.

Установлены рациональные параметры режима конвективной сушки мясных снеков, обеспечивающие достижение конечной массовой доли влаги 23,5–24,5 %.

Предложен и обоснован операционный критерий окончания сушки: на заключительном часовом этапе контроль по средней интервальной скорости обезвоживания служит индикатором достижения нормативной активности воды ($a_w \leq 0,85$). Сформированы условия хранения (до 90 суток при 18–20 °С). Произведена оценка экономической эффективности изготовления снеков из баранины с учётом затрат на стадиях переработки и получения готового продукта.

Разработана техническая документация на продукт – СТО 00493497-083-2025 (технологическая инструкция, рецептура).

Промышленная апробация мясных снеков проведена в учебно-научно-производственном комплексе «Пищевик» – структурном подразделении ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

Результаты исследований могут быть использованы мясоперерабатывающими предприятиями при проектировании и валидации технологий производства мясных снеков из баранины.

Методология и методы исследования: теоретические исследования проводились на основе методов математической статистики, общей теории тепло- и массообмена и физико-химических процессов посола и конвективной сушки мясного сырья. Экспериментальные исследования проводились по методикам, регламентированным действующими ГОСТами.

Применялись современные методы оценки качественных характеристик мясного сырья: физико-химические, органолептические и специализированные методы контроля. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10 с применением процедур описательной статистики и дисперсионного анализа, а также с оценкой статистической значимости различий.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований прижизненного формирования макроэлементного состава мышечной ткани овец при применении добавки «ЛактуВет-1» и его сохранности в мясных снеках после конвективной сушки и в процессе хранения;
- результаты многофакторного эксперимента и статистической обработки данных, обосновывающие состав посолочной смеси и параметры двухэтапного посола при производстве мясных снеков из обогащённой баранины;
- установленные на основе многофакторного эксперимента рациональные параметры режима конвективной сушки мясных снеков из обогащённой баранины;
- теоретически и экспериментально установленные кинетические параметры конвективной тонкослойной сушки мясных снеков из обогащённой баранины, включая параметры нормированных кривых обезвоживания, оценку

эффективного коэффициента диффузии влаги и операционный критерий окончания процесса по средней интервальной скорости обезвоживания.

Степень достоверности и апробация работы: достоверность полученных данных обеспечена применением современных общепринятых методик. Эксперименты выполнены в достаточном объёме в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и проведены на сертифицированном оборудовании с использованием аттестованных средств измерений. Часть результатов сопоставима с данными других исследователей по близкой тематике. Обоснованность сделанных выводов и рекомендаций подтверждена корректностью построенных регрессионных моделей и их согласованием с физической кинетикой изучаемых процессов. Отмечена сходимость теоретических и экспериментальных данных.

Ключевые результаты диссертационного исследования были изложены и рассмотрены в ходе научно-практических мероприятий (приложения *Е, Ж, З, И*) как российского, так и международного масштаба: Международная научно-практическая конференция «Инновационные подходы к развитию устойчивых аграрно-пищевых систем» (г. Волгоград, июнь 2022 г.); Вавиловская конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы (г. Саратов, февраль 2023 г.); CCCXLI Международная научно-практическая конференция «Глобальная экономика в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий» (г. Москва, январь 2024 г.); Международная научно-практическая конференция «Актуальность использования инновационных технологий при выращивании органической сельскохозяйственной продукции в различных почвенно-климатических условиях» (Узбекистан, г. Карши, июнь 2024 г.); XI научно-практическая конференция с международным участием «Биотехнология: взгляд в будущее» (г. Ставрополь, март 2025 г.); XXX Международная научная конференция «Общество: научно-образовательный потенциал развития (идеи, ресурсы, решения)» (г. Москва, март 2025 г.); XIII Всероссийская (национальная) научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Пищевые инновации и биотехнологии» (г. Кемерово, апрель 2025 г.); 76-я Международная

научно-практическая конференция «Научно-технические приоритеты развития АПК России» (г. Рязань, апрель 2025 г.).

Публикации. Материалы диссертационного исследования изложены в 13 печатных работах, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Общий объём публикаций составляет 3,44 печ. л., из которых 1,60 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Личный вклад автора состоит в научном обосновании и решении задачи совершенствования технологии производства мясных снеков из баранины с повышенным макроэлементным составом, формируемым на прижизненном этапе и сохраняемым при последующей переработке, а также в опытно-промышленной апробации технологии, разработке нормативно-технической документации на продукт, подготовке и представлении докладов на всероссийских и международных конференциях и публикации основных результатов исследования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует пунктам 5, 9, 11 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, основных выводов, списка литературы и 9 приложений. Материал изложен на 195 страницах, включает в себя 44 таблицы и 34 рисунка. Список литературы содержит 153 наименования, из них 49 иностранных.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ

1.1 Рынок мясных снеков в России и потребительские предпочтения

Сегмент мясных снеков в России за последние годы перешёл из нишевого сегмента в категорию устойчивого роста: рынок снековой продукции в России в 2022–2024 гг. характеризовался кратковременной коррекцией и последующим восстановлением объёмов с переходом к умеренному росту. По оценкам BusinesStat [7], совокупные продажи снеков в РФ в 2022 г. составили порядка 706 тыс. т, в 2023 г. – около 716 тыс. т, а в 2024 г. – порядка 717 тыс. т, что свидетельствует о стабилизации объёмов рынка после кратковременного периода коррекции и переходе к умеренному росту, что интерпретируется как стабилизация потребления снеков и адаптация ассортимента под смещение спроса в пользу отечественных производителей. Дополнительный импульс рынку дают удобные небольшие фасовки (25–50 г), расширение продаж через электронные каналы и ориентация на понятный состав с прозрачной маркировкой и стабильным качеством. При этом ассортимент смещается в пользу вяленых ломтиков и «мясных чипсов», удобных для потребления вне дома, а ценовую конкуренцию усиливает развитие собственных торговых марок розничных сетей.

Продажи поддерживаются проведением сезонных промоакций и выпуском наборов продукции малой фасовки, что снижает барьеры первичного потребления и способствует увеличению доли повторных покупок. Для производителей это свидетельствует о наличии устойчивого спроса, позволяющего экономически обосновать запуск и поддержание нишевых позиций при подтверждённом качестве и чётком ценностном предложении.

В таблице 1.1 приведён иллюстративный ассортимент мясных снеков (джерки/чипсы), доступных на рынке РФ.

Таблица 1.1 – Иллюстративные примеры ассортимента мясных снеков (джерки/чипсы), представленных на рынке РФ

Наименование производителя (торговая марка)			
Черкизово	Дымов	ВкусВилл	Мясной продукт
Значение, масса			
«Премиум, классический», 70 г	«Мясные чипсы из свинины, классические», 25 г	Чипсы из говядины «Джерикатесы, классические», 40 г	«Чипсы из баранины», 50 г
			

Потребительский спрос в сегменте мясных снеков в России формируется вокруг четырёх устойчивых мотивов выбора: вкусо-ароматического профиля, текстуры, пищевой и энергетической ценности продукта и понятного состава с чёткой маркировкой. Опросы показывают, что покупатели из активных возрастных групп рассматривают мясные снеки как удобный белковый перекус и готовы менять марку ради более «чистого» состава и стабильной сенсорики. Так, по данным отраслевого обзора [8], основным драйвером являются потребители моложе 55 лет, легче принимающие новые форматы и вкусы, что поддерживает расширение ассортимента именно в подкатегории мясных снеков.

Региональные данные по Челябинску (выборка 638 человек) показывают, что около половины респондентов потребляют мясные снеки [9]. Ядро аудитории составляют мужчины 18–39 лет. Наибольшим спросом пользуются изделия из

говядины (37 %) и мяса птицы (35 %). Предпочтительны пряный или острый вкус, плотная эластичная консистенция и равномерная окраска. Для повседневного потребления оптимален порционный формат 25–50 г, поскольку он удобен для употребления вне дома и позволяет контролировать разовую калорийность. При покупке мясопродуктов в целом прежде всего обращают внимание на внешний вид и цену. Каждый третий дополнительно оценивает дату производства, срок годности и сведения о составе.

Таким образом, сегмент мясных снеков в России закрепился в траектории устойчивого развития: стабилизация объёмов и умеренный рост сопровождаются адаптацией ассортимента под запрос на понятный состав, прозрачную маркировку и стабильное качество. При выборе определяющими остаются внешний вид и цена, далее – дата производства, срок годности и сведения о составе.

1.2 Обзор современных методов производства мясных снеков

В последние годы в различных субъектах Российской Федерации ведётся последовательная работа по восполнению недостатка биологически активных компонентов в питании населения. Повышенный интерес к продуктам с высокой пищевой ценностью особенно проявляется в регионах, где наблюдается нехватка жизненно важных нутриентов [10]. В этом контексте значительное внимание уделяется мясным снекам как современному виду пищевой продукции, который отличается удобством употребления, высокой концентрацией полезных веществ и длительным сроком хранения. На отечественном рынке такие изделия занимают всё более устойчивые позиции как форма высококонцентрированного мясного продукта длительного хранения. К этой категории относятся сушёные, сыровяленые и копчёные мясные изделия, разработанные с учётом потребностей потребителей в быстрой и удобной еде [11].

Одним из ключевых этапов в производстве мясных снеков является процесс сушки, включающий термическую, инфракрасную, вакуумную и вакуум-инфракрасную обработку. Последняя из перечисленных технологий получила

широкое распространение благодаря способности сохранять органолептические и питательные свойства мяса. Исследование [12] показало, что вакуум-инфракрасная сушка обеспечивает эффективное удаление влаги при щадящих температурных режимах, минимизируя потери белков и витаминов и предотвращая окисление жиров.

Не менее популярным методом производства мясных снеков является сыровяление, которое включает последовательные этапы: обвалку, жиловку, сухой посол с добавлением специй (чеснок, тмин, аджика), ферментацию при температуре 2–4 °С и сушку в камере (50 ± 1 °С с последующим понижением до 30 ± 5 °С). Как показано в исследовании О. В. Волковой и К. С. Есенбаевой [13], данная технология обеспечивает снижение влажности продукта до 34,5–37,6 %, что гарантирует его микробиологическую стабильность и длительный срок хранения. Примером служат снеки из мяса кролика, разработанные по этой методике. Они характеризуются высоким содержанием белка (48,8–52,3 %), упругой консистенцией и насыщенным вкусом, обусловленным введением фитокомпонентов и маринадов. Энергетическая ценность таких снеков составляет 229–260 ккал, а срок хранения достигает 80 суток при температуре 4 ± 2 °С.

В патенте RU 2470529 [14] представлен способ производства мясных снеков, включающий измельчение бескостного мясного сырья, соление с добавлением стартовых культур и ферментацию при контролируемых условиях. В качестве сырья предлагается использовать говядину, мясо птицы или свинину. В рецептуре применяются заквасочные культуры ГН-Старт ПС76, СЛ52 и Сейф ЛМ, обеспечивающие стабильность микрофлоры и выраженные органолептические характеристики продукта. Технология завершается сушкой и упаковкой, что позволяет получить безопасный продукт с длительным сроком хранения и высоким качеством.

В патенте RU 2685942 [15] предложен способ производства сыровяленого цельномышечного продукта из мяса птицы с добавлением пчелиной перги. Технология включает предварительную сушку и измельчение перги до порошкообразного состояния, маринование нарезанного мяса с добавлением соли,

сахара, пряностей и порошка перги, а также сушку при температуре 40–45 °С в течение 7–9 часов с последующей вакуумной упаковкой. Авторы отмечают, что использование перги позволяет повысить пищевую и биологическую ценность продукта за счёт обогащения аминокислотами, витаминами и ферментами. Полученный продукт отличается выраженными органолептическими характеристиками, упругой консистенцией, ярко выраженным вкусом и может быть отнесён к категории функциональных мясных снеков с повышенной пищевой ценностью.

В патенте RU 2814819 [16] описан способ производства мясных чипсов из мяса птицы, направленный на увеличение срока хранения и улучшение органолептических свойств. Технология включает нарезку куриного филе на пластины размером 30–70 мм и толщиной 0,8–1,5 мм, последующий посол в рассоле, содержащем мясницкую соль (1,4 %), поваренную соль (1,4 %), паприку (1,9 %) и воду. В состав мясницкой соли входят нитритная соль, сахар, нитрат натрия, антиокислитель жира, а также экстракты чёрного перца, мускатного ореха, можжевельника и перца кубеба. Посол проводится при температуре 0–4 °С в течение 2 часов. Далее осуществляется сушка при температуре 50 °С в течение 6 часов до остаточной влажности не более 18 %, после чего продукт упаковывают под вакуумом. Согласно заявлению авторов, полученные изделия характеризуются насыщенным вкусом и устойчивостью к микробиологической порче, что делает их пригодными для длительного хранения и потребления в полевых условиях.

Зарубежный патент CN 106604649 А [17] описывает технологию получения хрустящих мясных ломтиков (чипсов) с контролируемыми параметрами: влажность готового продукта поддерживается в диапазоне от 4,5 % до 15 %, толщина ломтиков – от 0,64 до 6,35 мм (0,025–0,25 дюйма), а показатель хрусткости не превышает 731 кгс. Применяемая методика сушки и термообработки позволяет обеспечить длительный срок хранения без использования консервантов, сохраняя при этом витамины, минералы и другие питательные вещества мяса. Мясные чипсы, изготовленные по данному способу, характеризуются оптимальным

сочетанием хрусткости и структурной прочности, что делает их удобным и питательным продуктом для современного рынка.

Таким образом, современные направления в производстве мясных снеков ориентированы на создание технологических решений, гарантирующих высокие потребительские свойства, устойчивость и безопасность конечного продукта. Особое внимание уделяется сохранению нутритивной ценности, улучшению консистенции и органолептических качеств, а также внедрению передовых способов обработки и использованию природных функциональных компонентов. Современные разработки демонстрируют стремление к созданию продуктов, соответствующих запросам потребителей в удобстве, натуральности и длительном сроке хранения. Эти тенденции подтверждают актуальность дальнейших исследований в сфере производства мясных снеков, включая изучение возможностей использования альтернативных видов сырья, таких как баранина.

1.3 Роль стартовых культур в обеспечении качества и безопасности ферментированных мясных снеков

Современные технологии мясных снеков всё активнее используют направленную ферментацию на базе стартовых культур, превращая продукт в функциональный и безопасный. Ферментированные мясные снеки, производимые с использованием стартовых культур, в последние годы занимают особое место среди мясных продуктов длительного хранения благодаря своему высокому качеству, безопасности и выраженным сенсорным характеристикам. Применение специально подобранных молочнокислых бактерий в рецептурах таких изделий обеспечивает контролируемое снижение pH и эффективное подавление нежелательной микрофлоры, одновременно способствуя формированию сложного вкусо-ароматического профиля и стабильной текстуры [18].

Экспериментальные исследования последних лет свидетельствуют о том, что использование стартовых культур в технологии ферментированных мясных снеков обеспечивает формирование естественной защиты от нежелательной микрофлоры

и способствует стабилизации физико-химических показателей продукта. Так, авторы научной работы [19] показали, что внесение штамма *Lactiplantibacillus plantarum* x3-2b в количестве 10^7 КОЕ/г при производстве снеков из баранины обеспечило быстрое снижение значения pH менее чем за сутки, удержание активности воды на уровне 0,82 и уменьшение остаточного содержания нитрита до величины менее 1 мг/кг, что обеспечивает отсутствие роста возбудителей, таких как *Salmonella*, на протяжении всего срока хранения.

Сопоставимые результаты получены при использовании другого технологически значимого штамма – *Lactiplantibacillus plantarum* BL4-8 – при выработке ферментированных снеков из баранины [20]. Уже спустя сутки созревания pH продукта опустился ниже 5,5. Суммарная концентрация биогенных аминов снижалась более чем на 40 % (гистамин – 56 %, путресцин – 45 %, тирамин – 38 %), а показатель перекисного окисления липидов составил всего 0,27 мг малонового альдегида на 100 г. Такие результаты указывают на замедление процессов жирового окисления и повышение микробиологической и токсикологической безопасности, что положительно отражается на сохранности вкуса, аромата и текстурных свойств готового изделия.

Особое значение имеет влияние молочнокислых бактерий на органолептические свойства ферментированных мясных снеков. В эксперименте [21] показано, что внедрение автохтонных штаммов *Lactilactobacillus sakei* BL6 и *Pediococcus acidilactici* BP2 значительно усиливает образование летучих эфиров и альдегидов, придающих продукту насыщенные мясные и подкопчённые оттенки, что подтверждается высокими оценками по дескриптивной сенсорной шкале.

Аналогичные результаты продемонстрированы в научной работе [22], где применяли композиции штаммов *Lactiplantibacillus curvatus* и *Pediococcus pentosaceus*, которые способствуют повышению концентрации свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов, что усиливает полноту вкуса и придаёт бархатистую текстуру продукту.

Не остаётся без внимания и способность стартовых культур снижать содержание вредных примесей. В научной работе [23] установлено, что включение

пробиотического комплекса на основе *Lactiplantibacillus plantarum* и *Bacillus subtilis* при изготовлении куриных снеков снижает остаточную концентрацию афлатоксина В₁ почти на две трети. Авторы связывают этот эффект с сорбционной способностью клеточных стенок микроорганизмов и повышенной активностью глутатион-S-трансферазы.

В другом исследовании [24] показано, что оптимизация параметров ферментации с применением штамма *Lactiplantibacillus plantarum* х3-2b и составных бактериальных культур позволяет существенно снизить исходное содержание пуринов в вяленой баранине. При последующей имитации кишечного пищеварения образцы, обогащённые штаммом *Pediococcus pentosaceus* 37х-3, продемонстрировали наибольшее уменьшение остаточных пуринов, что свидетельствует о высокой эффективности данных культур в снижении пуриновой нагрузки и потенциальном снижении риска для групп потребителей с нарушениями пуринового обмена.

Таким образом, направленное использование стартовых культур позволяет одновременно решать несколько ключевых задач при производстве ферментированных мясных снеков. Подбор высокоактивных штаммов молочнокислых бактерий обеспечивает быстрое и устойчивое снижение рН, создаёт мощный антимикробный барьер, стабилизирует активность воды и минимизирует остаточное содержание нитритов, тем самым гарантируя микробиологическую безопасность готового изделия. Одновременно данные культуры значительно улучшают органолептические характеристики продукта: усиливают формирование летучих ароматических соединений, повышают концентрацию свободных аминокислот и пептидов, обогащая вкус и придавая снеку привлекательную текстуру и стойкий цвет. Под влиянием пробиотических и комбинированных заквасок снижается уровень биогенных аминов, афлатоксинов и пуриновых соединений, что расширяет потребительскую аудиторию за счёт групп с диетическими ограничениями и повышенными требованиями к пищевой безопасности. Совокупность этих эффектов подтверждает, что рациональное

применение стартовых культур является центральным инструментом формирования качества, безопасности и функциональной ценности мясных снеков.

1.4 Пищевые и технологические характеристики основных видов мяса как сырья для производства мясных снеков

При выборе сырья для производства мясных снеков важное значение имеют не только технологические свойства мяса (структура мышечной ткани, влагосвязывающая способность, устойчивость к посолу, сушке и хранению), но и его пищевая и минеральная ценность. После анализа состояния рынка и современных технологических подходов к изготовлению снековой продукции необходимо рассмотреть особенности основных видов мяса, применяемых в пищевой промышленности, с позиций их пригодности для получения изделий длительного хранения.

В структуре потребления мясных продуктов в России доминируют свинина, мясо птицы, говядина и баранина. Указанные виды сырья различаются по химическому и минеральному составу, уровню жира и энергетической ценности, что определяет как их нутриционную роль в рационе, так и технологическую пригодность для производства сушёных и ферментированных продуктов.

С точки зрения разработки мясных снеков особый интерес представляют цельномышечные отрубы, пригодные для нарезки и последующей сушки, – мякоть задней части говядины, мякоть свиного окорока, куриная грудка без кожи и мякоть бараньего окорока.

По данным справочников [25, 26] химического состава российских пищевых продуктов и международных баз данных (FoodData Central) [27] в таблице 1.2 приведены усреднённые показатели химического и минерального состава указанных отрубов в расчёте на 100 г сырого продукта.

Таблица 1.2 – Химический состав цельномышечных отрубов основных видов мяса и их вклад в покрытие суточной потребности в кальции и магнии (на 100 г сырого продукта)

Наименование Показателя	Значение			
	Говядина, задняя часть (мякоть)	Свинина, окорок (мякоть)	Курица, грудка без кожи	Баранина, окорок (мякоть)
Энергетическая ценность, ккал	125–135	135–155	110–120	220–240
Белок, г	20–21	20–23	22–23	18–21
Жир, г	3–4	5–6	2–3	17–19
Влага, г	73–75	72–75	74–76	60–65
Са, мг	7–11	6–8	4–6	10–15
Mg, мг	8–12	25–29	22–25	20–25
P, мг	180–200	240–260	180–190	160–190
K, мг	250–280	400–420	280–300	240–260
Ca, % от суточной нормы*	0,7–1,1	0,6–0,8	0,4–0,6	1,0–1,5
Mg, % от суточной нормы*	2–3	6,3–7,3	5,5–6,3	5–6,3

*Расчёт доли суточной потребности выполнен для условной суточной потребности взрослого: Са – 1000 мг/сут, Mg – 400 мг/сут.

Как видно из таблицы 1.2, все рассматриваемые виды мяса являются источниками полноценного белка (примерно 18–23 г/100 г), что соответствует требованиям к высокобелковым продуктам перекусочного типа. Наиболее низкими энергетической ценностью и содержанием жира характеризуется куриная грудка. Несколько более высокие значения отмечаются у отрубов говядины и свинины. Мякоть бараньего окорока демонстрирует калорийность (220–240 ккал/100 г) и содержание жира 17–19 г/100 г, что обуславливает выраженный вкусо-ароматический профиль и высокую энергетическую плотность продукта, важные для сегмента мясных снеков.

По минеральному составу указанные виды мяса обеспечивают сопоставимые уровни фосфора и калия (в среднем порядка 160–260 мг P и 240–420 мг K на 100 г продукта). При этом доля покрытия суточной потребности в кальции при потреблении 100 г продукта составляет не более 0,4–1,5 %, а по магнию – порядка 2–7 %, что подтверждает ограниченный вклад мышечного мяса в коррекцию дефицита макроэлементов. В диетологии мясо рассматривается прежде всего как источник полноценных белков, железа и цинка, но не как значимый источник

кальция и магния, что подчёркивает актуальность прижизненного формирования макроэлементного профиля мясного сырья. С учётом отраслевой структуры отечественного мясоперерабатывающего комплекса и сложившихся потребительских предпочтений особый интерес для разработки мясных снеков представляет баранина как сырьё, сочетающее высокую вкусовую привлекательность, достаточную концентрацию белка и характерный липидный профиль, обеспечивающий высокую энергетическую ценность и выраженные вкусо-ароматические характеристики изделий длительного хранения. В то же время по уровню кальция и магния баранина не выделяется на фоне других видов мышечного мяса и, как и говядина, свинина и мясо птицы, не может рассматриваться как существенный источник этих макроэлементов.

Таким образом, с технологической точки зрения баранина является перспективным сырьём для производства мясных снеков: она обеспечивает высокую белковую и энергетическую ценность, выраженный вкусо-ароматический профиль и благоприятные текстурные свойства при посоле и сушке. В то же время качественные характеристики баранины (массовые доли белка, жира и влаги, энергетическая и минеральная ценность, липидный профиль, органолептические показатели) не являются фиксированными и существенно варьируют в зависимости от породного типа, возраста. Это требует анализа литературных данных о качественных показателях баранины различных пород и их помесей с позиций пригодности такого сырья для получения изделий длительного хранения, а также обоснованного выбора конкретного породного типа, мясное сырьё от которого может служить модельной сырьевой базой для разработки мясных снеков.

1.5 Качественные показатели баранины как сырья для производства мясных снеков

При выборе баранины в качестве сырья для производства мясных снеков необходимо учитывать породную специфику её качественных характеристик как мясного сырья, предназначенного для последующей переработки. Для изделий

длительного хранения, к которым относятся мясные снеки, ключевое значение имеют показатели химического состава (массовая доля белка, жира и влаги), пищевая и энергетическая ценность, а также структура и консистенция мяса, определяющие его поведение при посоле, созревании и сушке. В этом контексте породный тип выступает как один из исходных факторов, определяющих уровень указанных показателей и, следовательно, технологическую пригодность баранины для переработки в мясные снеки.

Породные различия указанных показателей проявляются уже в ранние возрастные периоды. В исследованиях, выполненных на овцах куйбышевской породы и их помесях с эдильбаевской породой в условиях Левобережья Саратовской области [28], была проведена сравнительная оценка химического состава баранины в возрасте 4 и 7 месяцев (см. таблицу 1.3).

Таблица 1.3 – Химический состав баранины, полученной от овец различных пород в возрасте 4 и 7 месяцев

Наименование показателя	Значение			
	Овцы куйбышевской породы (зимнее ягнение)	Помесные овцы (куйбышевской и эдильбаевской породы, зимнее ягнение)	Овцы куйбышевской породы (весеннее ягнение)	Помесные овцы (куйбышевской и эдильбаевской породы, весеннее ягнение)
4 месяца				
Влага, %	65,32±0,37	63,56±0,24	66,13±0,29	65,01±0,23
Жир, %	13,40±0,21	13,64±0,19	13,10±0,17	13,55±0,18
Зола, %	0,97±0,09	0,99±0,10	0,96±0,11	0,98±0,10
Белок, %	20,31±0,34	21,81±0,27	19,81±0,23	20,46±0,25
Калорийность 100 г мякоти, ккал	209,66	218,28	203,05	210,72
7 месяцев				
Влага, %	62,06±0,41	59,37±0,42	63,52±0,28	60,11±0,35
Жир, %	16,22±0,31	17,57±0,29	15,94±0,27	17,27±0,25
Зола, %	1,04±0,11	1,06±0,10	1,03±0,13	1,05±0,11
Белок, %	20,68±0,31	22,00±0,21	19,51±0,22	21,57±0,21
Калорийность 100 г мякоти, ккал	235,64	253,60	229,87	246,18

Анализ данных таблицы 1.3 показывает, что участие эдильбаевской породы в составе помесных групп приводит к формированию более благоприятного для переработки химического состава мяса по сравнению с мясом чистопородных куйбышевских овец. Уже в возрасте 4 месяцев у помесных животных (зимнее ягнение) массовая доля белка выше на 1,5 процентных пункта (21,81 % против 20,31 %), массовая доля жира несколько увеличена (13,64 % против 13,40 %), а влажность, наоборот, ниже (63,56 % против 65,32 %). В результате калорийность 100 г мякоти помесных ягнят возрастает с 209,66 до 218,28 ккал. Аналогичная тенденция отмечается и при весеннем ягнении: у помесных животных выше содержание белка и жира и ниже влажность по сравнению с куйбышевской породой, что сопровождается увеличением энергетической ценности.

К возрасту 7 месяцев различия между группами усиливаются. У помесных ягнят (зимнее ягнение) влажность снижается до 59,37 % (против 62,06 % у куйбышевской породы), содержание жира возрастает до 17,57 % (против 16,22 %), а белка – до 22,00 % (против 20,68 %). В группе весеннего ягнения картина аналогична: у помесных животных ниже влажность (60,11 % против 63,52 %), выше доля жира (17,27 % против 15,94 %) и белка (21,57 % против 19,51 %). Соответственно, калорийность мяса помесных овец достигает 253,60 и 246,18 ккал на 100 г против 235,64 и 229,87 ккал у чистопородных куйбышевских.

Для задач производства мясных снеков такое сочетание – повышенный уровень белка и жира при сниженной влажности – является принципиально важным. Более высокая массовая доля белка обеспечивает значимую пищевую ценность и позволяет позиционировать продукт как источник полноценного животного белка. Умеренно повышенное содержание жира и, как следствие, более высокая энергетическая ценность способствуют формированию ярко выраженного вкуса и сочности даже после сушки, что критически важно для изделий длительного хранения. Снижение влажности исходного сырья облегчает достижение целевой конечной массовой доли влаги и нормативных значений активности воды при конвективной сушке, а также положительно влияет на микробиологическую стабильность готового изделия.

Органолептические характеристики баранины также оцениваются выше: по данным Молчанова и Козина [29], мясо помесей с участием курдючных пород (в том числе эдильбаевской) получает более высокие баллы по сочности, вкусу и аромату по сравнению с бараниной тонкорунных пород. Это особенно значимо для мясных снеков, где послевкусие и выраженный аромат являются ключевыми факторами потребительского выбора.

Отдельный блок исследований посвящён качеству белка и аминокислотному профилю мяса баранчиков эдильбаевской породы. Результаты других исследований также подчёркивают перспективность сырья от овец эдильбаевской породы и помесных групп с её участием. Так, И.А. Сазонова [30] показала, что аминокислотный профиль баранины эдильбаевского типа характеризуется повышенной долей незаменимых аминокислот (до 37,52 г на 100 г белка) и благоприятным соотношением лизина и метионина, а жирнокислотный состав – значительной долей ненасыщенных жирных кислот. Это укрепляет позиционирование такого сырья как компонента продуктов повышенной пищевой ценности. Показано, что отношение незаменимых аминокислот к заменимым у молодняка эдильбаевской породы составляет порядка 0,67–0,69 при рекомендуемом диапазоне сбалансированного питания 0,56–0,67, что свидетельствует о высокой биологической ценности белка. Жирнокислотный состав эдильбаевской баранины характеризуется существенной долей ненасыщенных жирных кислот, включая линолевую и линоленовую, и достаточно высоким уровнем Омега-3-ПНЖК, особенно при пастбищном содержании в степных и полупустынных условиях. Это позволяет рассматривать данное сырьё не только как источник энергии, но и как компонент продуктов с повышенной физиологической ценностью. Для мясных снеков это важно, поскольку часть липидного профиля сохраняется даже после сушки и вносит вклад в формирование органолептических и нутриентных характеристик готового изделия.

Помимо общего химического состава и аминокислотного профиля, важной характеристикой баранины как сырья для функционально ориентированных продуктов является жирнокислотный состав липидной фракции, который также

находится под выраженным породным контролем. Данные по жирнокислотному профилю мясного сырья овец эдильбаевской породы представлены в работе С. Н. Ковальчука [31], где проведено сопоставление жирнокислотного состава *m. longissimus dorsi* овец различных пород. Показано, что мясо овец эдильбаевской породы (мясо-сального направления продуктивности) характеризуется более высокой долей миристиновой кислоты (C14:0 – $8,11 \pm 0,10$ % при 2,51–5,00 % у романовской, прекос и цигайской пород) при сопоставимом содержании пальмитиновой кислоты (C16:0 – $24,15 \pm 0,14$ %; 22,29–25,32 % у других пород) и стеариновой кислоты (C18:0 – $21,98 \pm 0,23$ %, что близко к значениям романовской и карачаевской пород и ниже, чем у куйбышевской – $46,76 \pm 0,34$ %). Олеиновая кислота (C18:1) в мясе овец эдильбаевской породы ($32,8 \pm 0,22$ %) несколько ниже, чем у романовской, прекос, карачаевской и цигайской пород (около 39–41 %), но выше, чем у куйбышевской ($15,8 \pm 0,24$ %), тогда как в составе полиненасыщенных жирных кислот отмечено относительно высокое содержание линолевой (C18:2 ω 6 – $5,32 \pm 0,14$ % против 2,24–4,00 % у большинства сравниваемых пород) и α -линоленовой (C18:3 ω 3 – $0,99 \pm 0,07$ % при 0,50–0,93 % у других пород) кислот.

Данные по чистопородным ягнятам эдильбаевской породы также подтверждают высокую пищевую ценность их мяса. В научной работе В. В. Муратовой [32] было показано, что по мере увеличения живой массы ягнят с 22 до 52 кг массовая доля влаги в мясе снижалась примерно с 69 до 65 %, тогда как содержание сухих веществ и жира возрастало. При живой массе 40–46,5 кг на 1 г белка приходилось примерно 0,72–0,73 г жира, что указывало на высокую энергоёмкость баранины при сохранении достаточного уровня протеина.

В обобщённом виде основные характеристики качества мясного сырья от овец эдильбаевской породы на основании проанализированных литературных данных представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные характеристики качества мясного сырья от овец эдильбаевской породы

Показатель / аспект качества	Краткая характеристика сырья от овец эдильбаевской породы
Химический состав и энергетическая ценность	Для молодняка отмечены повышенные массовые доли белка (19–21,0 %) и жира при несколько сниженной влажности по сравнению с рядом тонкорунных пород
Аминокислотный профиль	Суммарное содержание незаменимых аминокислот достигает 37,5 г на 100 г белка; отношение незаменимых аминокислот к заменимым находится в диапазоне 0,67–0,69
Жирнокислотный состав	Жир баранины характеризуется значительной долей ненасыщенных жирных кислот, включая линолевую и линоленовую кислоты, а также достаточно высоким уровнем Омега-3 полиненасыщенных жирных кислот
Органолептические свойства	Отмечены высокие баллы по сочности, вкусу и аромату, что связывают с уровнем внутримышечного жира и особенностями жирнокислотного профиля
Оценка как сырья для изделий длительного хранения	Сочетание высокой белковой и энергетической ценности, физиологически ценных липидов и характерной структуры мышечной ткани позволяет рассматривать мясное сырьё от овец эдильбаевской породы как перспективную сырьевую базу для получения изделий длительного хранения

Таким образом, совокупность приведённых данных позволяет рассматривать мясное сырьё от овец эдильбаевской породы как перспективную сырьевую базу для переработки в изделия длительного хранения. Для такого сырья характерны повышенное содержание белка и жира при относительно сниженной влажности, высокая биологическая ценность белка, благоприятный жирнокислотный профиль и улучшенные органолептические показатели. Указанные особенности обосновывают выбор мясного сырья от овец эдильбаевской породы в настоящем исследовании.

1.6 Прижизненное формирование минерального состава мышечной ткани овец

В контексте пищевых технологий всё большее значение приобретает прижизненное формирование минерального состава мышечной ткани как управляемый этап повышения сбалансированности минерального профиля мясного сырья. За счёт целенаправленной коррекции рационов и включения функциональных кормовых добавок (органически связанных форм минералов, бифидогенных компонентов) обеспечиваются повышенная биодоступность ключевых элементов и их депонирование в мышечной ткани, что в дальнейшем отражается на качестве продукции переработки.

В литературе [33] выделяют два принципиальных подхода к обогащению мясных продуктов минеральными веществами:

- посмертное обогащение (технологически) – внесение солей йода, селена, железа, цинка и др. непосредственно в фарш, рассол или оболочку;
- прижизненное обогащение – коррекция рационов таким образом, чтобы микроэлементы поступали в организм животного с кормом, всасывались в ЖКТ, включались в обмен веществ и депонировались в мышечной ткани. Ряд исследований по функциональной мясной продукции показывает, что именно прижизненный путь позволяет получать мясо с органически связанной формой микроэлементов и с более высокой биодоступностью, тогда как прямое внесение минеральных солей чаще сопровождается изменением вкуса, цвета и высоким риском передозировки отдельных элементов. Для снековой продукции это особенно важно, поскольку продукт имеет концентрированный химический состав и длительный срок хранения, поэтому стабильность и равномерность распределения микроэлементов в самом мясе критичны. Технологический путь удобен с точки зрения внедрения в рецептуры, но имеет ряд ограничений. При внесении повышенных доз неорганических солей в колбасные и снековые изделия изменяется вкус и послевкусие, может появляться металлический оттенок, усиливаться потемнение или пятнистость окраски, а локальная концентрация

отдельных элементов приближается к верхней границе допустимых уровней. Часть катионов образует труднорастворимые комплексы с компонентами фарша, что снижает их реальную биодоступность для потребителя. Для сушёных изделий из мяса с концентрированным химическим составом и длительным сроком хранения такие эффекты особенно критичны, поскольку ускоряют окислительные процессы, ухудшают цвет и аромат, снижают стабильность качества в конце срока годности.

Прижизненный подход позволяет рассматривать мясо как природно структурированную матрицу, в которой микроэлементы изначально присутствуют в органически связанной форме. Коррекция рациона по содержанию йода, селена, цинка и других эссенциальных элементов за счёт использования органических комплексов (хелаты, белково-минеральные и аминокислотные формы) обеспечивает более равномерное распределение этих элементов в мышечной ткани, более высокую биодоступность и лучшую устойчивость к технологической обработке. С технологической точки зрения это означает формирование сырьевой базы с заранее заданным минеральным профилем, менее чувствительной к окислительному стрессу при посоле, ферментации, сушке и хранении, что напрямую связано с сохранением цвета, аромата и текстуры готовых мясных снеков.

Эмпирическое подтверждение применимости такого подхода получено в исследовании Гиро Т. М. и соавт. [34]: длительное включение органических форм йода и селена в рацион овец приводит к количественно подтверждённому накоплению соответствующих элементов в мышечной ткани. Содержание йода в длиннейшей мышце спины у животных, получавших указанные добавки, составляло $54,6 \pm 6,8$ и $61,5 \pm 9,6$ мкг/кг, что соответствует 1,7–1,9-кратному превышению контрольных значений. Концентрации селена при введении селеноорганической добавки и её сочетания с «Йоддар-Zn» составляли соответственно $286,3 \pm 100,2$ и $300,2 \pm 105,1$ мкг/кг.

В другом исследовании Гиро Т. М. и соавт. [35] показано, что прижизненное обогащение баранины эссенциальными микроэлементами напрямую увязано с технологией производства мясных снеков. Авторы установили, что у баранчиков,

получавших рацион с органическими формами йода и селена («Йоддар-Zn» и «ДАФС-25»), в мышце *m. longissimus dorsi* содержание цинка, селена и йода достигало соответственно 980; 53,9 и 77,6 мкг/100 г, что соответствует 8,2; 77,0 и 51,7 % суточной потребности человека в этих элементах на 100 г сырой баранины. Из данного сырья были изготовлены сыровяленные снеки, при этом в процессе технологической обработки содержание цинка снизилось на 21,3 %, селена – на 16,3 %, йода – на 26,5 %, а их остаточные уровни составили 771; 39,72 и 57,01 мкг/100 г, обеспечивая 6,4; 56,7 и 38,0 % суточной потребности соответственно. Дополнительно установлено, что при вакуумном хранении в течение трёх месяцев потери микроэлементов остаются умеренными (11,3–14,3 %), а готовый продукт по-прежнему покрывает до половины суточной потребности в селене и около трети потребности в йоде. Работа демонстрирует, что прижизненное обогащение позволяет не только сформировать обогащённое мясное сырьё, но и получить на его основе снековый продукт с прогнозируемым минеральным профилем и сохранением функциональной ценности в течение всего срока годности.

Зарубежные исследования также подтверждают, что прижизненное введение органических форм селена и других микроэлементов позволяет одновременно повышать их депонирование в мышечной ткани и улучшать технологические свойства мяса. Так, в научной работе [36] показано, что использование в рационах ягнят породы Ну различных источников селена (натрий селенит, селенизированная глюкоза, селен-дрожжи) повышает содержание селена в мышце *longissimus dorsi*, улучшает антиоксидантный статус и статистически значимо продлевает срок хранения мяса за счёт снижения накопления малонового диальдегида и замедления изменения цветовых показателей.

Аналогичные результаты приведены в работе [37], где показано, что органический селен-дрожжи по сравнению с селенитом натрия обеспечивает более высокую концентрацию селена и большую активность глутатионпероксидазы в мышце ягнят, что сопровождается повышением устойчивости мяса к окислению.

Таким образом, обобщение отечественных и зарубежных данных позволяет сделать несколько принципиальных выводов, важных именно для пищевых

технологий. Во-первых, прижизненное обогащение даёт возможность управлять не только суммарным уровнем минералов, но и состоянием антиоксидантной системы мышцы (активность глутатионпероксидазы, содержание малонового диальдегида и др.), что напрямую определяет скорость развития окислительных процессов в мясе при хранении и переработке. Во-вторых, показано, что органические формы микроэлементов (селен-дрожжи, селенизированная глюкоза и др.) обеспечивают более равномерное депонирование селена в мышце и повышенную устойчивость цвета и липидной фракции к окислению по сравнению с неорганическими солями. Это означает, что на этапе конструирования рационов можно «задать» не только целевые уровни микроэлементов, но и ожидаемую стабильность цвета и аромата будущих продуктов из такого мяса. В-третьих, для технологий изделий длительного хранения, в том числе ферментированных и сушёных снеков, критичным является не столько мгновенное содержание селена или йода сразу после убоя, сколько их сохранность на протяжении всей технологической цепочки: посол, ферментация, сушка, вакуумная или газовая упаковка, складское хранение.

1.7 Особенности применения пребиотических и пробиотических добавок в прижизненном формировании показателей качества мышечной ткани овец

В современных условиях пребиотические и пробиотические добавки, используемые в рационах, рассматриваются как важный инструмент прижизненного управления качеством мясного сырья. Они способны влиять на процессы переваривания и усвоения питательных веществ, уровень эндотоксинов, состояние иммунной и антиоксидантной систем. Через эти механизмы формируются исходные физиологические условия, от которых во многом зависят ход посмертного гликолиза, динамика рН, выраженность окислительных процессов и, как следствие, такие показатели мяса, как влагосвязывающая способность, цвет, аромат и микробиологическая стабильность [38].

Согласно отчёту [39], рынок пробиотиков характеризуется высоким темпом роста, стабильным увеличением инвестиций в научно-исследовательские

разработке и расширением применения пробиотических компонентов в различных сегментах рынка. В отчёте выделяются ключевые тренды: растущая осведомлённость потребителей о пользе пробиотиков для здоровья, увеличение числа промышленных и фармацевтических применений, а также активное освоение развивающимися регионами новых технологий производства. Пробиотические компоненты всё чаще рассматриваются не только как средство коррекции микробиоценоза, но и как фактор, влияющий на качество пищевой продукции животного происхождения. Введение пробиотиков и пребиотиков в рационы позволяет снижать долю условно-патогенной микрофлоры и образование аммиака, биогенных аминов и других токсичных метаболитов. Для мясной промышленности это означает более благоприятный санитарный фон и более предсказуемые микробиологические характеристики мясного сырья, предназначенного для переработки в изделия длительного хранения.

Такие кормовые добавки широко применяются как за рубежом, так и в России, однако их состав и форма выпуска могут существенно различаться.

На зарубежном рынке представлено множество бифидогенных кормовых добавок, различающихся по действующему началу и форме выпуска. К ним относятся дрожжевые пробиотики на основе живых культур *Saccharomyces cerevisiae* («BioPlus YC»), манноолигосахаридные пребиотики из клеточных стенок дрожжей («Bio-Mos»), а также препараты лактулозы («Enulosa - Lactulose Solution») [40, 41, 42]. По составу этих добавок хорошо видно, какие задачи ставят разработчики: стабилизировать обмен веществ, уменьшить образование токсичных метаболитов и усилить антиоксидантную защиту тканей. Для пищевых технологий это важно потому, что при использовании таких программ кормления удаётся получать мясное сырьё с более устойчивым минеральным и антиоксидантным статусом, меньшей склонностью к окислительным изменениям и более предсказуемыми показателями цвета и сочности, что особенно актуально при переработке мяса в продукты длительного хранения, включая снеки.

На отечественном рынке представлены аналогичные по механизму действия пробиотические и пребиотические средства, разработанные с учётом особенностей

местной сырьевой базы и технологий получения пищевого сырья. Особый интерес представляют пребиотики на основе лактулозы, эффективность и механизмы действия которых научно обоснованы в работах отечественных исследователей, прежде всего академика А. Г. Храмцова [43]. Лактулоза рассматривается как классический пребиотик, селективно стимулирующий рост бифидогенной микрофлоры, изменяющий профиль короткоцепочечных жирных кислот в кишечнике и способствующий улучшению усвоения кальция, магния, железа, цинка и других минеральных компонентов. К отечественным пребиотическим продуктам на основе лактулозы относятся, в частности, «Пребиотик № 1 академика А. Г. Храмцова» и «Ветелакт», а к мультиштаммовым пробиотическим композициям – препарат «Тетрабиотик» [44, 45, 46]. С позиции пищевых технологий интерес представляет не столько общий физиологический эффект, сколько последствия для характеристик мясного сырья: более устойчивый обмен веществ и снижение выраженности метаболических нарушений связаны с меньшей вариабельностью показателей качества мяса (показатель рН, цвет, влагосвязывающая способность, склонность к окислительным изменениям). Это особенно важно при использовании мяса для производства изделий длительного хранения, где исходная стабильность мяса определяет выход готового продукта и сохранность его сенсорных характеристик.

Таким образом, пребиотические и пробиотические кормовые добавки следует рассматривать не только как компонент рационов, но и как инструмент прижизненного формирования свойств мясного сырья. Корректируя микробиологические и метаболические процессы в организме животных, они опосредованно влияют на посмертный гликолиз, динамику рН, интенсивность окислительных реакций, минеральный и антиоксидантный статус мышечной ткани. Это создаёт предпосылки для получения мяса с более стабильными показателями цвета, сочности, влагосвязывающей способности (ВСС) и микробиологической безопасности, что особенно важно при разработке технологий изделий длительного хранения, включая мясные снеки из баранины.

1.8 Особенности бифидогенной добавки «ЛактуВет-1»

В качестве бифидогенной кормовой добавки в экспериментальных исследованиях рассматривался сухой концентрат «ЛактуВет-1» – пребиотическая кормовая добавка [47], объединяющая лактулозу и комплекс минералов (кальций, магний, калий, фосфор) в форме легкоусвояемых соединений. Добавка разработана для оптимизации рациона сельскохозяйственных животных. Она производится из молочной мелассы, образующейся при изготовлении лактозы: мелассу подвергают термической обработке, изомеризации лактозы в лактулозу с последующей сушкой.

Разработчиками «ЛактуВет-1» являются Инжиниринговый центр Института живых систем Северо-Кавказского федерального университета (ИЖС СКФУ) совместно с молочным комбинатом «Ставропольский» (МКС).

В таблице 1.5 приведён качественный и количественный состав сухого концентрата «ЛактуВет-1» на продукт с массовой долей сухих веществ 97,5 %. В его составе не менее 14,5 % лактулозы, не менее 25,2 % лактозы, не менее 12,5 % моносахаридов (галактозы, глюкозы).

Суммарное содержание указанных углеводных компонентов (лактулоза, лактоза, моносахариды) составляет не менее 52,2 %. Минеральные компоненты представлены кальцием 3,4–4,4 %, фосфором 1,4–1,7 %, калием 0,7–1,7 % и магнием 0,5–0,7 %. Органические кислоты представлены молочной кислотой 5,2 % и лимонной кислотой 2,3 %.

Оставшаяся часть сухих веществ (29,3 %) относится к группе прочих компонентов и включает дополнительные углеводные соединения, азотсодержащие вещества пептидной природы и другие низкомолекулярные компоненты молочного сырья.

Таблица 1.5 – Состав концентрата «ЛактуВет-1»

Наименование показателя	Значение, %
Сухие вещества	97,5
Лактулоза (дисахарид)	не менее 14,5
Лактоза	не менее 25,2
Моносахариды (галактоза, глюкоза)	не менее 12,5
Кальций	3,4–4,4
Фосфор	1,4–1,7
Калий	0,7–1,7
Магний	0,5–0,7
Молочная кислота	5,2
Лимонная кислота	2,3
Прочие компоненты	29,3

Минеральный блок концентрата представлен катионами натрия, калия, кальция, магния и анионом фосфора. Сочетание лактулозы и макроэлементов позволяет рассматривать «ЛактуВет-1» как комбинированный пребиотико-минеральный комплекс, потенциально влияющий не только на состояние пищеварительной системы, но и на обеспеченность организма макроэлементами, от которой зависят структурные свойства костной и мышечной ткани. Согласно данным литературы [48, 49], лактулоза, ферментируясь до короткоцепочечных жирных кислот, способствует лучшему усвоению кальция и магния и снижению уровня токсичных метаболитов.

Механизм действия «ЛактуВет-1» определяется прежде всего свойствами лактулозы как пребиотика и её сочетанием с минеральным и белковым компонентами молочной мелассы. Лактулоза не гидролизуется в тонком кишечнике из-за отсутствия специфических дисахаридаз и практически в неизменённом виде поступает в толстый кишечник, где избирательно ферментируется резидентной микрофлорой с образованием короткоцепочечных жирных кислот (преимущественно ацетата, а также пропионата и бутирата) и молочной кислоты. Это сопровождается снижением рН кишечного содержимого и стимулирует рост бифидобактерий и лактобацилл при одновременном угнетении условно-патогенной флоры [50].

С позиции пищевых технологий «ЛактуВет-1» представляет интерес как фактор, который может влиять на качество мясного сырья за счёт совокупного действия следующих эффектов:

- пребиотический эффект лактулозы и нормализация метаболических процессов создают условия для более предсказуемого посмертного гликолиза и стабилизации рН мышечной ткани;

- улучшение усвоения кальция, магния и иных макроэлементов может способствовать формированию более благоприятного минерального статуса мясного сырья;

- снижение уровня токсичных метаболитов и потенциальное усиление антиоксидантной защиты, связанное с активностью короткоцепочечных жирных кислот, могут уменьшать выраженность окислительных процессов в липидной и пигментной фракциях мяса.

С учётом изложенных литературных данных в рамках настоящей диссертации предполагается, что включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы позволит сформировать мясное сырьё с более сбалансированным минеральным составом, улучшенными показателями влагосвязывающей способности (ВСС) и повышенной устойчивостью к окислительным изменениям липидной и пигментной фракций, а также со стабильно сохраняемыми цвето- и ароматообразующими характеристиками при переработке в продукты длительного хранения. Сформулированные предположения будут проверены в экспериментальной части работы путём сопоставления физико-химических, минеральных, функционально-технологических и сенсорных показателей мяса и снековой продукции.

Таким образом, «ЛактуВет-1» представляет собой комбинированный концентрат на основе лактулозы, сахаров, органических кислот и макроэлементов (Ca, Mg, K, P, Na), состав которого соответствует известным механизмам усиления абсорбции кальция и магния, коррекции кишечной микробиоты и снижения уровня токсичных метаболитов. В условиях прижизненного применения это создаёт предпосылки для изменения минерального статуса мышечной ткани. С позиции

пищевых технологий «ЛактуВет-1» может рассматриваться как средство прижизненного формирования свойств мясного сырья, важное при производстве мясных снеков из баранины длительного срока хранения.

Выводы по главе

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы показывает, что современное производство баранины для пищевой промышленности требует более системного подхода к формированию функциональных свойств мясного сырья на всех этапах технологической цепочки – от выращивания животных до переработки.

Особый интерес представляет использование баранины как сырья для продукции длительного хранения. Породные особенности, возраст, а также условия кормления и содержания существенно влияют на химический, минеральный и аминокислотный состав мясного сырья, его рН, цвет и устойчивость к окислению, что подтверждается литературными данными по качественным показателям баранины различных пород и их помесей. Прижизненное обогащение баранины эссенциальными микроэлементами (йод, селен, цинк и др.) позволяет направленно формировать минеральный профиль мышечной ткани и получать биофортифицированное сырьё, способное вносить значимый вклад в покрытие потребности человека в микроэлементах при сохранении показателей безопасности и технологической пригодности. Однако применительно к технологиям мясных снеков такие исследования пока единичны и требуют развития, особенно в части оценки влияния прижизненного обогащения на функционально-технологические свойства и стабильность качества готовых изделий. На этом фоне бифидогенная добавка «ЛактуВет-1», сочетающая лактулозу и комплекс макроэлементов, представляет интерес как перспективное средство прижизненного воздействия на свойства баранины. Существующие данные о её составе и механизме действия позволяют предположить, что включение «ЛактуВет-1» в рацион овец может способствовать формированию мясного сырья с более благоприятным минеральным и функционально-

технологическим профилем, адаптированного к переработке в мясные снеки. Это обосновывает необходимость проведения собственных исследований, направленных на оценку влияния указанной добавки на качество сырья и оптимизацию технологии производства снеков из баранины, полученной от овец эдильбаевской породы.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием предложенного подхода прижизненного формирования свойств мясного сырья. Представляется целесообразным, во-первых, распространить изученный подход не только на добавку «ЛактуВет-1», но и на другие пребиотико-минеральные и микроэлементные комплексы, сопоставляя их влияние на минеральный и функционально-технологический профиль баранины. Во-вторых, требуется более детально исследовать зависимость структурно-механических, функционально-технологических и сенсорных показателей мясных снеков от дозировки и схем применения пребиотико-минеральных добавок в рационах овец. В-третьих, представляет интерес оценка вклада баранины в покрытие потребности человека в отдельных макро- и микроэлементах при сохранении стабильных показателей качества и безопасности снековой продукции на протяжении всего срока хранения.

2 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Структура и программа экспериментальных исследований

Структура и программа экспериментальных исследований направлены на реализацию общей концепции диссертационной работы, чёткое определение предмета исследования и оптимальную организацию её теоретической и экспериментальной частей. В рамках реализации данной программы в 2021–2025 гг. на базе стационара ветеринарной клиники Института ветеринарной медицины и фармации ФГБОУ ВО Вавиловский университет проведено исследование, направленное на оценку влияния бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на прижизненное формирование целевых показателей качества мясного сырья, а также на установление степени их сохранения на стадиях посола, сушки и хранения при производстве мясных снеков.

Характеристика мясного сырья изучалась на кафедре «Технология производства и переработки продукции животноводства» в кооперации с УНИЛ (учебно-научная испытательная лаборатория) по контролю качества продуктов питания и сельхозпродукции, а также на базе Центра коллективного пользования «Симбиоз» Федерального исследовательского центра Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН (ФИЦ ИБФМ РАН). Промышленная апробация проводилась в УНПК «Пищевик».

В экспериментальном плане приняты к исследованию и проверке по утверждённым методикам все нормативные показатели, установленные действующей технологической и санитарно-гигиенической документацией. Для оценки процессов дополнительно применены методики: регистрация кинетики обезвоживания, расчёт средней интервальной скорости сушки, аппроксимация кривых массоотдачи и верификация моделей. Структурная схема исследования представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура и программа аналитических и экспериментальных исследований

Схема отражает основные этапы исследований: аналитический этап (анализ научно-технической и патентной литературы, обоснование объекта и параметров применения добавки), а также экспериментальный этап, включающий организацию опытов по прижизненному формированию минерального профиля мясного сырья с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», комплексное изучение качественных характеристик баранины, производство мясных снеков и оценку эффективности полученных результатов.

Для получения мясного сырья были сформированы две группы 4-месячных баранчиков эдильбаевской породы по 20 животных в каждой, сформированные методом пар-аналогов по живой массе и возрасту. Животных содержали в одинаковых условиях со свободным доступом к воде. В обеих группах в качестве основного комбикорма использовали стандартную смесь на основе ячменя и овса, которую скармливали из расчёта 300 г на голову в сутки. В контрольной группе комбикорм задавали без кормовых добавок, тогда как в опытной группе к тому же комбикорму добавляли бифидогенную добавку «ЛактуВет-1» в дозировке 20 г/гол. Опыт длился 90 суток. В остальной части рациона (количество основных кормов, режим поения) условия кормления в контрольной и опытной группах были идентичными.

На этапах формирования сырьевой базы, проведения лабораторных исследований и постановки опытов оценивались качественные показатели и физико-химические свойства мясного сырья. Изучались пищевая ценность баранины, микробиологические показатели и гистологическая структура мышечной ткани. Дополнительно определялось содержание токсичных элементов для подтверждения безопасности используемого сырья.

На технологическом этапе работы была усовершенствована и апробирована технология производства мясных снеков из баранины, основанная на применении стартовых культур и ферментации на стадии посола до достижения целевого уровня кислотности. Технологическая последовательность включала входной контроль качества сырья, посмертное созревание при 0–4 °С в течение 24–72 ч, подмораживание, нарезку, посол-ферментацию, конвективную сушку при 50–60 °С

до достижения активности воды $a_w \leq 0,85$, последующее охлаждение и герметичную вакуумную упаковку. После посмертного созревания баранину разделяли на куски массой 250–300 г, подмораживали при $-8\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3–4 ч и нарезали тонкими ломтиками на автоматическом слайсере. Посол-ферментацию осуществляли в два этапа: сначала тёплое созревание при температуре $12\text{--}18\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 14 часов, затем выдержку в холодильной камере при температуре $0\text{--}4\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 часов. На данной стадии определяли влажность, активность воды, pH, влагосвязывающую способность. В качестве компонентов посолочной смеси использовали пищевую соль (ГОСТ Р 51574–2018), соевый соус (ГОСТ Р 58434–2019), нитритно-посолочную смесь (0,6 % нитрита натрия) (ГОСТ Р 58859–2020), сахар белый (ГОСТ 33222–2015), стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-CA3», чёрный перец (ГОСТ 29050–91) и аскорбиновую кислоту (ГОСТ 4815–2014) [51–56]. Упакованный продукт хранили при температуре $18\text{--}20\text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не более 75 %. Срок годности составлял 90 суток.

Анализ химического состава мясных снеков выполнялся с определением массовой доли влаги, белка, жира и золы. Для оценки пищевой ценности изучался минеральный состав продукта. Рассчитывались энергетическая ценность и выход готового продукта. Микробиологические показатели определялись по уровню общей бактериальной обсеменённости и наличию патогенных микроорганизмов. Помимо этого, определялись показатели окислительной порчи липидов (кислотное и перекисное числа) как критерии стабильности качества продукта. Органолептическая оценка проводилась по следующим параметрам: внешний вид, цвет, запах, вкус, текстура.

Завершающий этап включал разработку нормативно-технической документации (приложения А, Б, В); научно-производственную апробацию результатов исследований (приложение Д) и расчёт экономической эффективности внедряемой технологии.

2.2 Объекты и методы исследований

В соответствии с целью работы и поставленными задачами, а также с учётом программы экспериментальных исследований в диссертации определены объекты и предмет исследования. Прижизненный этап (введение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион) рассматривался как фактор формирования макроэлементного состава мясного сырья, а технологический этап переработки – как совокупность операций, влияющих на показатели качества и безопасности мясных снеков.

Объекты исследования:

- мясное сырье овец эдильбаевской породы (контрольной и опытной групп);
- мясные снеки из баранины.

Предмет исследования – закономерности формирования макроэлементного состава баранины (Ca, Mg, P, K) и связанных показателей качества мясного сырья при применении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», а также закономерности изменения показателей качества и безопасности мясных снеков (рН, активность воды (a_w), массовая доля влаги, ВСС, микробиологические и органолептические показатели) на стадиях посола, конвективной сушки и хранения.

В ходе эксперимента для комплексной оценки формируемой сырьевой базы, предназначенной для переработки в мясные снеки, и характеристик готового продукта применялись следующие методики:

1. Живая масса животных, а также абсолютный и среднесуточный прирост живой массы использовались для оценки формирования объёма мясного сырья, поступающего на переработку. Показатели определялись в соответствии с ГОСТ 25955-83 [57]. Абсолютный прирост живой массы рассчитывался как разность между конечной и начальной живой массой. Среднесуточный прирост вычислялся по формуле 2.1:

$$X = \frac{m_k - m_n}{n} \cdot 1000, \quad (2.1)$$

где m_k – живая масса в конце контрольного периода, кг,

m_n – живая масса в начале контрольного периода, кг;

n – контрольный период, дни.

2. Предубойная живая масса животных определялась путем взвешивания на платформенных весах ВСП4-600.2 А9 с максимальной нагрузкой 600 кг и погрешностью $\pm 0,2$ кг после 24-часовой голодной выдержки.

3. Тканевой состав туш определялся методом обвалки с последующим разделением мышечной ткани, костей и внутреннего жира. Масса внутреннего жира, включая курдюк, определялась с использованием лабораторных весов CAS MWP-1500 (максимальная нагрузка – 1500 г, точность – 0,05 г). Масса мякоти и костей определялась путём взвешивания на платформенных весах ВСП4-600.2 А9. Площадь поперечного сечения длиннейшей мышцы спины (*Longissimus dorsi*) определялась планиметрическим методом: на уровне перехода последнего грудного к первому поясничному позвонку выполнялся поперечный срез, к нему прикладывалась пергаментная бумага, обводился контур мышцы, после чего площадь отпечатка измерялась с использованием планиметра.

4. Отбор проб для проведения лабораторных исследований выполнялся в соответствии с ГОСТ Р 51447–99 [58], что обеспечивало репрезентативность и сопоставимость полученных результатов анализа.

5. Оценка органолептических характеристик проводилась по 9-балльной шкале в соответствии с требованиями ГОСТ 9959–2015 [59]. Данный метод использовался для комплексной характеристики потребительских свойств мясного сырья и снековой продукции (внешний вид, цвет, запах, вкус, консистенция).

6. Определение влажности проводилось термогравиметрическим методом путём высушивания навески продукта массой 5 г при температуре 105 ± 2 °С до достижения постоянной массы с использованием анализатора влажности Adam RMВ-202 (Adam Equipment, Великобритания). Показатель массовой доли влаги использовался для характеристики химического состава сырья и степени дегидратации при производстве мясных снеков.

7. Массовая доля белка определялась по методу Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 25011-2017 [60]. Полученные значения содержания белка служили для

оценки пищевой ценности баранины и расчёта белкового состава готовой продукции.

8. Массовая доля жира определялась по ГОСТ 23042-2015 с использованием экстракционного аппарата Сокслета [61]. Полученные результаты использовались для характеристики липидной фракции и энергетической ценности сырья и мясных снеков.

9. Расчёт калорийности (K) проводился по следующей формуле 2.2:

$$K = 4 \cdot B + 9 \cdot Ж + 4 \cdot У, \quad (2.2)$$

Где B – масса всех белков на 100 г продукта;

$Ж$ – масса всех жиров на 100 г продукта;

$У$ – масса всех углеводов (в граммах) на 100 г продукта.

10. Аминокислотный состав мясного сырья определялся следующим образом: основной профиль протеиногенных аминокислот устанавливался методом ВЭЖХ по МВИ-02-2002 после гидролиза белков. Триптофан определялся отдельным методом капиллярного электрофореза. Аминокислотный скор рассчитывался по методу Митчелла и Блока.

11. Выход готового продукта определялся методом прямого взвешивания образцов до и после сушки. Расчёт проводился с учётом потери влаги по следующей формуле 2.3:

$$X = \frac{M_1}{M_2} \cdot 100 \%, \quad (2.3)$$

где M_1 – масса продукта после сушки, г;

M_2 – масса продукта до сушки, г.

Полученный показатель выхода использовался для оценки влияния режимов сушки на массовые потери и экономические показатели технологии получения мясных снеков.

12. Массовая доля минеральных веществ рассчитывалась по результатам озоления навески в муфельной печи при (550 ± 25) °С в соответствии с ГОСТ 31727–2012 [62]. Содержание цинка определялось по ГОСТ 26934–86 [63], содержание железа – по ГОСТ 26928–86 [64].

13. Определение содержания кальция в образцах мяса и продукции проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55573-2013 [65].

14. Определение содержания магния выполнялось методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии в соответствии с ГОСТ 33424-2015 [66], натрия и калия – по ГОСТ Р 55484-2013 [67].

15. Определение массовой доли общего фосфора в образцах продукции животного происхождения проводилось спектрофотометрическим методом по ГОСТ 32009–2013 [68].

16. Концентрация витаминов В1, В2, В3, В5, В6 и В9 определялась по ГОСТ 55482–2013 «Мясо и мясные продукты. Метод определения содержания водорастворимых витаминов» [69]. Полученные результаты использовались для характеристики витаминной ценности сырья и готовых снеков и оценки их возможного вклада в покрытие суточной потребности в водорастворимых витаминах.

17. Влагосвязывающая способность определялась планиметрическим методом прессования по Грау-Хамму в модификации Воловинский-Кельман [70] по формулам 2.4 и 2.5:

$$x_1 = \frac{(A-8,4 \cdot B) \cdot 100}{M_D}, \quad (2.4)$$

$$x_2 = \frac{(A-8,4 \cdot B) \cdot 100}{A}, \quad (2.5)$$

где X_1 – содержание связанной влаги, % к массе мяса;

где X_2 – содержание связанной влаги, % к общей влаге;

A – общее содержание влаги в навеске, мг;

B – площадь влажного пятна, см²;

M_D – масса навески мяса, мг.

Коэффициент 8,4 отражает экспериментально установленное соотношение: 1 см² влажного пятна соответствует 8,4 мг воды. Полученные показатели влагосвязывающей способности использовались для характеристики

технологических свойств мяса (сочность, потери массы при тепловой обработке и сушке).

18. Активная кислотность (рН) определялась потенциометрическим методом с помощью настольного рН-метра OHAUS AQUASEARCHER TM AB33PH по ГОСТ 51478–99 [71]. Метод основан на измерении разности потенциалов между стеклянным измерительным электродом, реагирующим на активность ионов водорода (H⁺), и хлорсеребряным эталонным электродом; величина этой разности прямо пропорциональна значению рН. Полученный показатель рН использовался для оценки хода посмертного гликолиза, степени созревания мяса и устойчивости продукции к микробиологической порче.

19. Гистологические исследования микроструктуры образцов проводились в соответствии с ГОСТ 31479–2012 [72]. Метод основан на окрашивании гистологических препаратов гематоксилином и эозином с последующим обезвоживанием, просветлением и монтажом в бальзаме. Гистологический анализ применялся для оценки состояния мышечных волокон и соединительной ткани, а также возможных структурных изменений, связанных с прижизненным обогащением.

20. Определение содержания тяжёлых металлов в исследуемых образцах выполнялось по следующим методикам: свинец и кадмий определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с пламенной атомизацией по ГОСТ 30178–96 [73], мышьяк – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с гидридной генерацией (гидридный метод) по ГОСТ Р 51766–2001 [74]. Определение содержания тяжёлых металлов проводилось с целью контроля безопасности сырья и готовой продукции и подтверждения их соответствия требованиям нормативной документации по содержанию токсичных элементов.

21. Сушка мясных снеков проводилась в сушилке-дегидраторе *Kitfort KT-1910* при температуре 50–60 °С. Номинальная потребляемая мощность оборудования составляла 1 кВт, номинальное напряжение – 220–240 В, частота тока – 50–60 Гц. Применение выбранных режимов сушки обеспечивало получение

продукта с массовой долей влаги, соответствующей требованиям к готовым мясным снекам, при сохранении его потребительских свойств.

22. Температура поверхности продукта контролировалась с использованием портативного бесконтактного инфракрасного термометра *Raytek RAYMT4U MiniTemp Infrared (IR) Thermometer*. Такой контроль температурного режима поверхности позволял исключать перегрев образцов и неравномерность процесса сушки, что являлось важным условием сохранения качества и безопасности готовых снеков.

23. Микробиологические исследования выполнялись в соответствии с методиками, установленными нормативными документами ГОСТ: коагулазоположительные стафилококки (*Staphylococcus aureus*) – по ГОСТ 31746-2012 [75]; сульфитредуцирующие бактерии рода *Clostridium* – по ГОСТ 29185-2014 [76]; патогенные микроорганизмы рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012 [77]; бактерии вида *Escherichia coli* – по ГОСТ 30726-2001 [78]; КМАФАнМ по ГОСТ 10444.15–94 [79]; бактерии группы кишечных палочек (БГКП) – по ГОСТ 31747-2012 [80]. Результаты микробиологических испытаний служили основой для оценки санитарно-микробиологической безопасности сырья и снековой продукции.

24. Жирнокислотный состав определялся методом газовой хроматографии в виде метиловых эфиров жирных кислот по ГОСТ 34987-2023 [81] с целью оценки соотношения насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, а также содержания Омега-3 и Омега-6 и их отношения.

25. Определение кислотного числа (КЧ) проводилось кислотно-основным титриметрическим методом по ГОСТ Р 55480–2013 [82]. Полученный показатель кислотного числа использовался для оценки степени гидролитического разложения липидов и контроля сохранности жировой фракции мясных снеков при хранении.

26. Определение перекисного числа (ПЧ) проводилось йодометрическим титриметрическим методом по ГОСТ 34118–2017 [83]. Полученный показатель перекисного числа характеризовал интенсивность первичных стадий окисления

липидов и служил показателем окислительной стабильности продукции и допустимой продолжительности хранения мясных снеков.

27. Определение структурно-механических свойств снеков проводилось методом анализа профиля текстуры (ТРА) с использованием текстурного анализатора *Brookfield CT3* в двух режимах: компрессионном (с цилиндрическим зондом TA5 для оценки твёрдости, упругости и энергии деформации) и пенетрационном (с коническим зондом TA15/1000 для оценки хрупкости, сопротивления проколу и энергии разрушения). Полученные параметры текстуры использовались для объективной количественной характеристики консистенции мясных снеков и сопоставления с результатами органолептической оценки.

28. Для моделирования зависимости ключевых показателей (массовой доли влаги, рН, a_w) от технологических факторов (таких, как температура, толщина, длина, концентрация соли, сахара и стартовых культур) применялась квадратичная регрессионная модель второго порядка в методе поверхности отклика (RSM). Общий вид модели в кодированных переменных представлен в виде уравнения регрессии 2.6:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (2.6)$$

где \hat{Y} – прогноз отклика (зависимая переменная);

где b_0 – свободный член;

b_1, b_2, b_3 – коэффициенты линейных эффектов факторов x_1, x_2, x_3 ;

b_{11}, b_{22}, b_{33} – коэффициенты квадратичных эффектов;

b_{12}, b_{13}, b_{23} – коэффициенты попарных взаимодействий факторов;

факторы кодируются в диапазоне [-1; +1].

29. Кинетика конвективной сушки мясных снеков из баранины оценивалась по изменению нормированной влажности (MR) в соответствии с общепринятым подходом анализа процессов тонкослойной сушки пищевых материалов. В ходе эксперимента через заданные интервалы времени определяли массовую долю влаги W, %. Для сопоставления режимов сушки и последующего построения кинетических кривых экспериментальные данные переводили к влагосодержанию

на сухую основу X и нормированной (безразмерной) влажности MR . Влагосодержание на сухую основу X , выраженное как отношение массы воды к массе сухого вещества, рассчитывали по выражению:

$$X = \frac{W}{100-W} \quad (2.7)$$

где X – кг воды/кг сухого вещества; W – массовая доля влаги, %.

Нормированная (безразмерная влажность):

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2.8)$$

где X_0 – начальное X ;

X_e – равновесное X (для каждого температурного режима принято по значению на 7-м часу, когда кривая $MR(t)$ выходит на плато).

Собранные данные анализировались методами статистической обработки с использованием программ *Microsoft Excel 2010* (для построения таблиц и графиков) и *Statistica 10* (для проведения факторного дизайна эксперимента, оценки линейных и квадратичных эффектов факторов, построения регрессионных моделей, дисперсионного анализа (ANOVA) и поверхностей отклика), а также языка программирования *Python* (для автоматизации расчётов). Для анализа данных применялись методы статистической обработки, включающие расчёт средних значений и стандартных отклонений между контрольной и опытной группами, что позволяло количественно описать разброс результатов. Для проверки значимости различий между группами использовался t-критерий Стьюдента с уровнем значимости $P < 0,05$.

Выводы по главе

1. В работе применялись стандартные и частные методики исследований (ГОСТ, патенты и рекомендации).
2. На основе принятых методик определялись значимые контролируемые показатели качества сырья и готовых изделий, а также критерии оценки безопасности; формировались сопоставимые контрольная и опытная группы при единых условиях наблюдений.
3. При проведении экспериментальных исследований определялись и учитывались основные параметры: температура и продолжительность технологической обработки, режимы посола/созревания и конвективной сушки.
4. В ходе работы подбиралось лабораторное оборудование, позволявшее варьировать условия обработки и фиксировать результаты.

3 ПРИЖИЗНЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ОВЕЦ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ БАРАНИНЫ

3.1 Результаты экспериментальных исследований прижизненного формирования показателей качества мышечной ткани овец

В ходе экспериментальной части работы оценивали влияние бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на показатели формирования мясной части туш и убойные качества овец эдильбаевской породы, рассматриваемые как характеристики системы прижизненного формирования сырьевой базы и как параметры, определяющие объём и структуру мяса, направляемого на дальнейшую переработку в мясные снеки.

Четырёхмесячный возраст животных рассматривался как исходная (базовая) точка отсчёта. В этот день, одновременно с первым взвешиванием, в опытной группе было начато применение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», что рассматривалось как старт реализации технологии прижизненного формирования минерального профиля мясного сырья. Начальные значения живой массы оказались практически идентичными: $35,21 \pm 0,22$ кг у животных контрольной группы и $35,34 \pm 0,21$ кг – у опытной, что позволяет считать стартовые условия сопоставимыми. Последующие взвешивания проводили через 1, 2 и 3 месяца эксперимента, соответственно на 150-е, 180-е и 210-е сутки жизни овец (после начала введения добавки).

По истечении 1 месяца эксперимента (150-е сутки жизни) в опытной группе пятимесячных овец было зафиксировано статистически значимое увеличение живой массы по сравнению с контрольной группой: $39,61 \pm 0,23$ кг против $38,79 \pm 0,25$ кг, что соответствует приросту на 2,1 % ($P < 0,05$). На основании полученных данных можно констатировать формирование начального биостимулирующего эффекта добавки «ЛактуВет-1».

По истечении 2 месяцев эксперимента (180-е сутки жизни) живая масса шестимесячных овец в опытной группе увеличилась на 3,5 % по сравнению с контрольной и составила $44,05 \pm 0,28$ кг против $42,57 \pm 0,26$ кг ($P < 0,001$).

По истечении 3 месяцев эксперимента (210-е сутки жизни) живая масса овец опытной группы достигла максимального значения и составила $48,62 \pm 0,31$ кг, что на 4,7 % превышало показатель контрольной группы - $46,44 \pm 0,35$ кг ($P < 0,001$).

На рисунке 3.1 представлена динамика изменения живой массы овец эдильбаевской породы в контрольной и опытной группах за три месяца эксперимента: от стартовой точки (0-й месяц; 120-е сутки жизни) до 3-го месяца (210-е сутки жизни). Диаграмма наглядно демонстрирует, как добавка «ЛактуВет-1» (20 г на голову) повлияла на прирост массы животных.

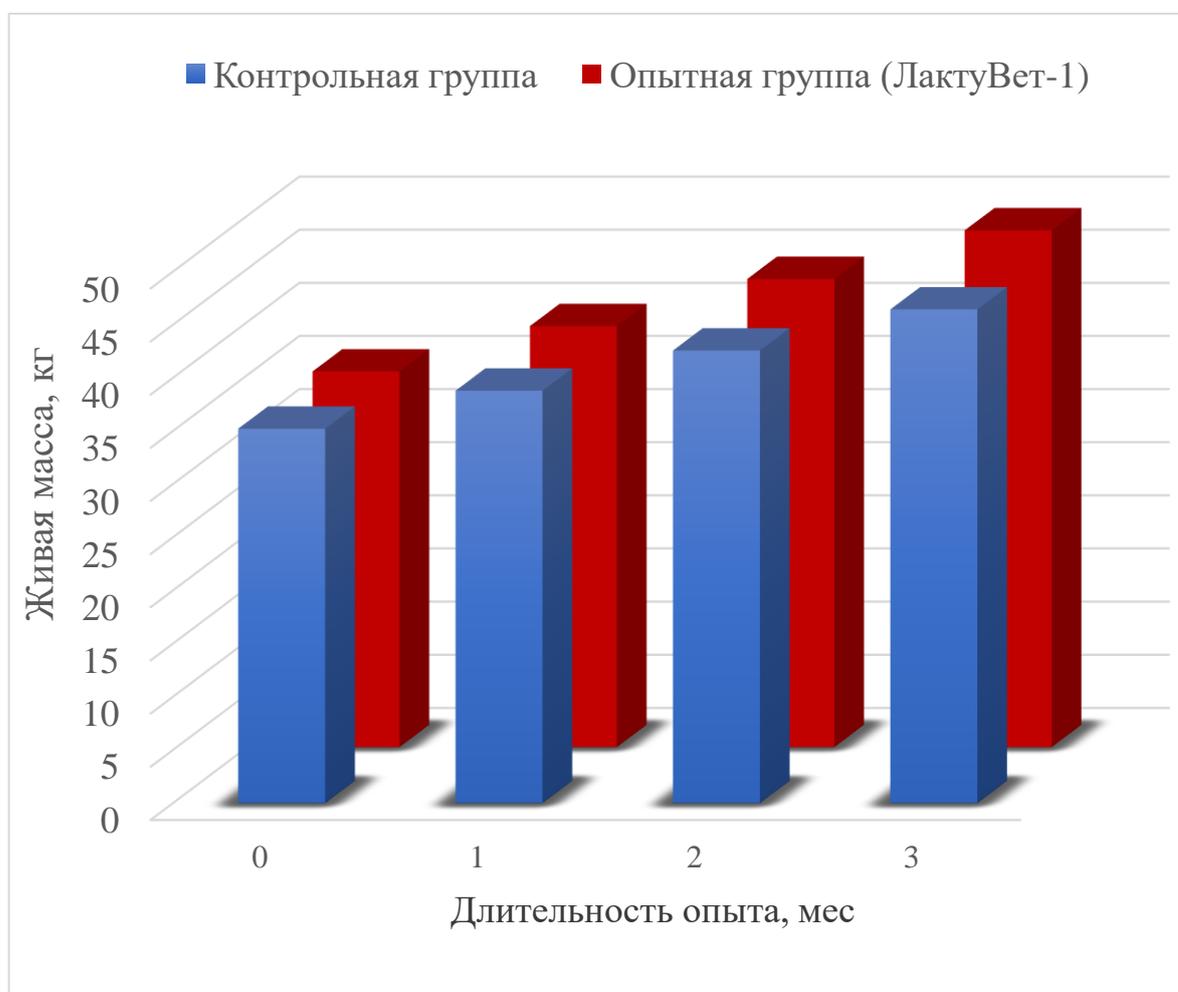


Рисунок 3.1 – Динамика живой массы овец эдильбаевской породы в контрольной и опытной группах ($n = 20$ в каждой группе). Точки наблюдений: 0, 1, 2, 3-й месяц опыта (соответствуют 120, 150, 180, 210 сут)

Как видно из графика, у животных, получавших «ЛактуВет-1», рост живой массы на всём интервале опыта опережал контроль.

Абсолютный прирост живой массы за весь 90-дневный период исследования составил $11,23 \pm 0,42$ кг у животных контрольной группы и $13,28 \pm 0,38$ кг – в опытной (см. таблицу 3.1). Прирост массы оказался на 18,3 % выше по сравнению с контролем ($P < 0,001$), что свидетельствует о более интенсивном формировании мясной части туш и, соответственно, о более высоком исходном уровне мясного сырья к моменту убоя.

Таблица 3.1 – Абсолютный и среднесуточный прирост живой массы ($M \pm m$, $n = 20$)

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
		Контрольная группа	Опытная группа (ЛактуВет-1)
Абсолютный прирост	кг	$11,23 \pm 0,42$	$13,28 \pm 0,38^{***}$
Среднесуточный прирост	г/сут	$124,8 \pm 4,7$	$147,6 \pm 4,2^{***}$

Примечание: * статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами (***) $P < 0,001$).

Среднесуточный прирост массы тела составил $124,8 \pm 4,7$ г/сут в контрольной группе и $147,6 \pm 4,2$ г/сут в опытной группе. Рост на 18,2 % оказался статистически значимым ($P < 0,001$) и свидетельствует о стимулирующем воздействии добавки «ЛактуВет-1». С практической точки зрения повышение среднесуточного прироста упрощает планирование объёма и сроков формирования сырьевой базы, обеспечивая достижение заданных параметров массы туш в более рациональные сроки.

В таблице 3.2 приведены показатели формирования мясной части туш овец.

Таблица 3.2 – Показатели формирования мясной части туш овец ($M \pm m$, $n = 5$), кг

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа (ЛактуВет-1)
7 месяцев		
Масса мякоти	16,44±0,19	18,05±0,16***
Масса внутреннего жира	0,64±0,13	0,72±0,12
Масса курдюка	3,14±0,19	3,30±0,20
Масса костей	2,86±0,30	3,00±0,32

Примечание: * статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами (***) $P < 0,001$

В завершение эксперимента у овец опытной группы, которым вводили добавку «ЛактуВет-1», отмечены существенные улучшения основных показателей формирования мясной части туш. Масса мякоти в опытной группе достигла 18,05±0,16 кг, что на 9,8 % превышало показатель контрольной группы (16,44±0,19 кг, $P < 0,001$). В сочетании с установленным увеличением массы мякоти при отсутствии выраженных различий по жировым отложениям это указывает на формирование более мясной туши, что с позиций пищевых технологий означает получение сырья с повышенным потенциалом для производства продуктов с более высокой белковой ценностью.

При этом статистически значимых различий по массе внутреннего жира и массе курдюка не выявлено, что указывает на увеличение массы мякоти при сохранении уровня жировых отложений. Такое увеличение массы при сохранении жировой компоненты считается более благоприятной характеристикой баранины как пищевого сырья [84]. На этом основании считаем, что «ЛактуВет-1» способствует получению туш с повышенной долей мякоти и более благоприятным соотношением мышечной и жировой ткани, что характеризует такую баранину как более ценное по пищевым свойствам сырьё и создаёт предпосылки для разработки продуктов с повышенной питательной ценностью, в том числе мясных снеков.

Результаты нашего исследования соответствуют выводам, изложенным в зарубежной научной работе 2023 года [85], где было установлено, что включение в рацион пребиотической добавки на основе маннан-олигосахаридов и β -глюкана способствовало улучшению белкового обмена у овец. Это проявлялось в

увеличении мышечной массы при отсутствии статистически значимого прироста жировых отложений. Такое совпадение направленности изменений подтверждает, что наблюдаемое в настоящем исследовании перераспределение прироста массы в пользу мышечной ткани носит не случайный, а закономерный характер.

Предубойная масса и площадь «мышечного глазка» представлены в таблице 3.3. Площадь поперечного сечения длиннейшей мышцы спины «мышечного глазка» определяли по поперечному разрезу мышцы на границе между последним грудным и первым поясничным позвонками [86, 87].

Таблица 3.3 – Показатели формирования мясной части туш (n = 5)

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа (ЛактуВет-1)
7 месяцев		
Предубойная масса, кг	46,44±0,35	48,62±0,31**
Площадь «мышечного глазка», см ²	12,10±0,52	13,30±0,55

Примечание: * статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами (** P < 0,01)

К семимесячному возрасту предубойная масса животных опытной группы составила 48,62±0,31 кг, что на 4,7 % превышало аналогичный показатель контрольной группы 46,44±0,35 кг (P < 0,01). Площадь «мышечного глазка» имела тенденцию к увеличению с 12,10±0,52 до 13,30±0,55 см² (P > 0,05). Полученные различия по площади «мышечного глазка» следует интерпретировать как тенденцию, поскольку статистическая значимость для этих признаков в представленных данных не подтверждена.

Таким образом, включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец сопровождалось статистически значимым увеличением живой и предубойной массы, а также повышением массы мякоти. Нарастание эффекта по мере увеличения продолжительности применения добавки позволяет предположить наличие кумулятивного действия. Наибольшие различия между опытной и контрольной группами установлены на завершающем этапе опыта, что позволяет рассматривать «ЛактуВет-1» как фактор прижизненного воздействия на показатели

формирования мясной части туш, определяющие объём мясного сырья, используемого для последующей переработки.

3.2 Исследование жирнокислотного состава

В рамках настоящего исследования проведён подробный анализ жирнокислотного состава с акцентом на определение содержания насыщенных, моновенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (см. таблицу 3.4). Для выявления влияния разных режимов питания проведена сравнительная оценка между образцами, полученными от животных опытной группы, и образцами от животных контрольной группы.

Таблица 3.4 – Жирнокислотный состав ($M \pm m$; $n = 3$), %

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
C _{4:0} Масляная	менее 0,1	менее 0,1
C _{6:0} Капроновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{8:0} Каприловая	менее 0,1	менее 0,1
C _{10:0} Каприновая	0,20 ± 0,04	0,20 ± 0,04
C _{10:1} Деценовая	менее 0,1	менее 0,1
C _{11:0} Ундекановая	менее 0,1	менее 0,1
C _{12:0} Лауриновая	0,40 ± 0,04	0,30 ± 0,04
C _{13:0} Тридекановая	менее 0,1	менее 0,1
C _{14:0} Миристиновая	3,7 ± 0,1	3,1 ± 0,1
C _{14:1} Миристолеиновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{15:0} Пентадекановая	0,80 ± 0,13	1,70 ± 0,09
C _{15:1} Пентадеценовая	менее 0,1	менее 0,1
C _{16:0} Пальмитиновая	22,10 ± 0,35	20,5 ± 0,3
C _{16:1} Пальмитолеиновая	2,10 ± 0,18	1,40 ± 0,13
C _{17:0} Маргаринавая	2,30 ± 0,07	2,40 ± 0,07
C _{17:1} Маргаринолеиновая	1,10 ± 0,05	0,90 ± 0,04
C _{18:0} Стеариновая	20,5 ± 0,4	21,6 ± 0,4
C _{18:1n9t} Элаидиновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{18:1n9c} Олеиновая	39,40 ± 0,45	40,2 ± 0,5
C _{18:2n6t} Линоэладиковая	менее 0,1	менее 0,1
C _{18:2n6c} Линолевая	2,80 ± 0,04	2,90 ± 0,04
C _{20:0} Арахидиновая	0,20 ± 0,02	0,10 ± 0,01
C _{18:3n6} Гамма-линоленовая	менее 0,1	менее 0,1

Продолжение таблицы 3.4

C _{20:1} Эйкозеновая	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03
C _{18:3n3} Линоленовая	2,70 ± 0,20	2,80 ± 0,22
C _{20:2} Эйкозадиеновая	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03
C _{22:0} Бегеновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{20:3n6} Эйкозатриеновая	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03
C _{22:1n9} Эруковая	менее 0,1	менее 0,1
C _{20:3n3} Эйкозатриеновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{23:0} Трикозановая	менее 0,1	менее 0,1
C _{20:4n6} Арахидоновая	0,40 ± 0,09	0,50 ± 0,09
C _{22:2} Докозадиеновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{24:0} Лигноцериновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{20:5n3} Эйкозапентаеновая	0,20 ± 0,05	0,30 ± 0,05
C _{24:1} Нервоновая	менее 0,1	менее 0,1
C _{22:6n3} Докозагексаеновая	менее 0,1	менее 0,1
Сумма НЖК, %	50,20 ± 0,75	49,90 ± 0,53
Сумма МНЖК, %	42,7 ± 0,6	42,60 ± 0,52
Сумма ПНЖК, %	6,3 ± 0,3	6,70 ± 0,35
Омега-3	2,9 ± 0,1	3,1 ± 0,1
Омега-6	3,30 ± 0,15	3,50 ± 0,15
Соотношение Омега-6 / Омега-3 жирных кислот	1,14 ± 0,06	1,13 ± 0,07

Примечание: НЖК – насыщенные жирные кислоты; МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты

По данным таблицы 3.4 в опытной группе отмечена тенденция к снижению доли насыщенных жирных кислот по сравнению с контролем (НЖК 49,9 % против 50,2 %), а также к незначительному снижению доли мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК 42,6 % против 42,7 %). Одновременно выявлена тенденция к увеличению доли полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК 6,7 % против 6,3 %), включая повышение содержания Омега-3 (3,1 % против 2,9 %) и Омега-6 (3,5 % против 3,3 %). Соотношение Омега-6/Омега-3 сохранялось на сопоставимом уровне (в опытной группе – 1,13, в контрольной – 1,14), что указывает на сохранение их соотношения в липидной фракции. Статистически значимых различий по суммарным показателям НЖК, МНЖК, ПНЖК, Омега-3, Омега-6 и соотношению Омега-6/Омега-3 не выявлено ($P > 0,05$).

Таким образом, по суммарным показателям жирнокислотного состава в опытной группе отмечено небольшое снижение доли насыщенных жирных кислот и повышение доли полиненасыщенных жирных кислот при сохранении сопоставимого соотношения Омега-6/Омега-3.

3.3 Гистологическое исследование мышечной ткани овец

В современной пищевой науке гистология является стандартным инструментом для оценки качества мясного сырья на микроуровне: микроструктура ткани – диаметр и форма мышечных волокон, плотность коллагена, распределение внутримышечного жира – напрямую определяет ключевые пищевые свойства, включая влагосвязывающую способность (ВСС), нежность [88].

В настоящем исследовании гистологический метод использован для оценки структурных изменений мышечной ткани, обусловленных прижизненным применением бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» как приёма управляемого формирования качества мясного сырья. Анализ микроструктуры мышечной ткани важен, поскольку диаметр и однородность мышечных волокон, а также выраженность эндомизия и перимизия определяют ключевые технологические свойства мясного сырья. Дополнительно учитывали характер внутримышечных жировых включений, поскольку крупные локальные скопления липидов и расширенные эндомизиальные прослойки могут ухудшать связность ткани и снижать устойчивость качества при хранении за счёт окислительных изменений.

В качестве объекта анализа была выбрана длиннейшая мышца спины (*m. longissimus dorsi*) как одна из наиболее показательных мышц при оценке микроструктуры баранины. Исследовали образцы мясного сырья, полученные от животных контрольной группы (стандартный рацион) и опытной с прижизненным применением добавки «ЛактуВет-1».

Для визуализации структуры из каждого образца получали микрофотографии поперечных срезов (см. рисунок 3.2), на основе которых проводилась сравнительная морфометрия.

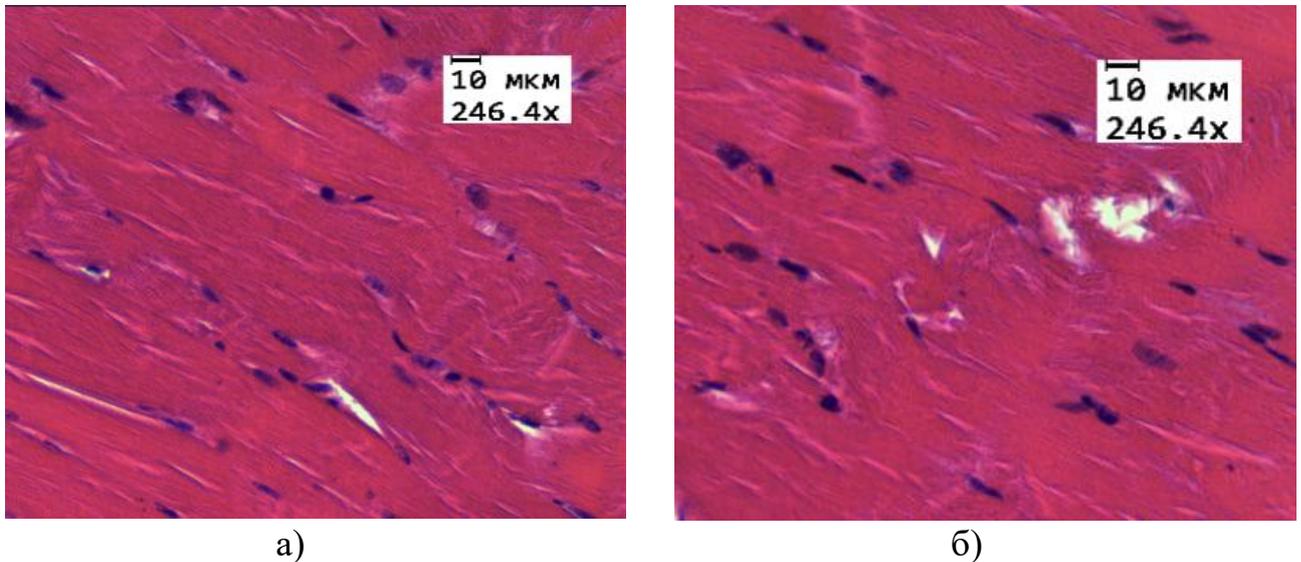


Рисунок 3.2 – Микрофотографии поперечного среза мышечной ткани овец, окрашенные гематоксилином-эозином (увеличение $\times 246,4$ $n = 3$)

а) опытная группа; б) контрольная группа

В образцах из опытной группы на микропрепаратах при увеличении мышечные пучки представлены плотными, параллельными волокнами с чётко очерченными границами. Эндомизий между волокнами выражен слабо, при этом отсутствуют крупные жировые прослойки. Общая структура ткани однородна и компактна, что свидетельствует о более развитой мышечной архитектуре. В образцах из контрольной группы мышечные волокна располагаются менее регулярно, между ними видны расширенные эндомизимальные прослойки и единичные скопления жира. Это имеет значение, поскольку при термообработке такие включения плавятся, локально снижая механическую прочность и связность ткани. В период хранения возрастает вероятность окислительного повреждения липидов и ухудшения вкуса. Следовательно, меньшее количество жировой ткани в опытной группе связано с более однородной структурой [89].

При дальнейшем изучении поперечных гистологических срезов при увеличении $\times 774$ (см. рисунок 3.3) видны тонкие детали внутриволоконной

организации: саркомерная исчерченность миофибрилл, характер расположения ядер и выраженность прослоек эндомизия. Более тонкие прослойки эндомизия указывают на меньший вклад соединительной ткани в жёсткость. Сохранность чёткой исчерченности свидетельствует об упорядоченности миофибрилл. В совокупности такие признаки обычно обеспечивают более мягкую и ровную по ощущению консистенцию и «чистый» срез без крошения в готовом продукте.

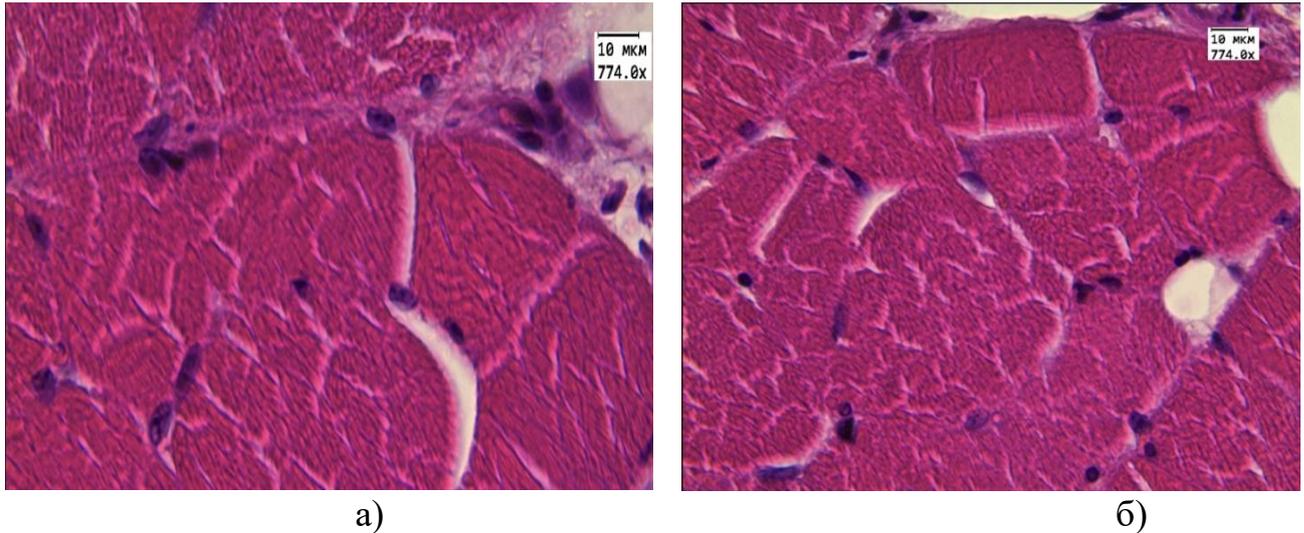


Рисунок 3.3 – Микрофотографии поперечного среза мышечной ткани овец, окрашенные гематоксилином-эозином (увеличение $\times 774,0$; $n = 3$)

а) опытная группа; б) контрольная группа

В образцах из опытной группы скелетные мышечные волокна представлены правильными многоугольными миоцитами с чётко очерченной периферической локализацией ядер, без признаков воспаления. Поперечные полосы саркомерной структуры отчётливо видны на всём поле зрения, а диаметр волокон демонстрирует низкую вариабельность: средний диаметр и площадь поперечного сечения однородны, без «узких» или «широких» аномалий. Эндомизиальные прослойки тонкие, соединительнотканые волокна равномерно распределены, признаков интерстициального отека и склероза не обнаружено. Перимизий чёткий, без утолщений, сосудистый рисунок однороден. Такая картина соответствует доброкачественному сырью и благоприятному постмортальному состоянию

мышцы. При термообработке это, как правило, сочетается с меньшим усилием среза, лучшим удержанием воды и ровной, «без жилок», текстурой продукта [90].

В образцах из контрольной группы структура мышечных волокон также соответствует норме, однако наблюдается несколько более широкий разброс диаметров: наряду с типовыми по толщине миоцитами встречаются единичные волокна с уменьшенным диаметром, а в некоторых участках эндомизий содержит слегка расширенные межклеточные пространства, что укладывается в физиологические пределы. Контрастность окраски высокая, саркомерные полосы сохранены, центральных ядер и очагов дистрофии не выявлено. Морфологическая целостность ткани удовлетворительная, однако вариабельность гистометрических параметров здесь чуть более выражена.

Оба образца не содержат признаков патологии, но в мышечной ткани из опытной группы волокна более однородны по диаметру и плотности. В готовом продукте это может проявляться у контрольной группы как несколько большее выделение сока при нарезке по сравнению с опытной, хотя критичных отклонений не ожидается.

Для обобщения полученных гистологических данных и установления их связи с технологическими характеристиками мясного сырья были введены два условных безразмерных интегральных показателя. Индекс морфологической однородности мышечной ткани I_m качественно отражает совокупность микроструктурных признаков: чем более выровнен диаметр мышечных волокон по полю зрения, чем тоньше и равномернее прослойки эндомизия, чем меньше локальных скоплений внутримышечного жира и чем лучше сохранена саркомерная исчерченность, тем выше значение I_m .

Относительный технологический показатель качества мясного сырья I_t рассматривается как качественный интегральный индекс, характеризующий в целом технологическую пригодность сырья (склонность к потерям массы при термообработке, жёсткость, устойчивость текстуры и др.).

На основе выявленных различий в микроструктуре длинной мышцы спины у животных контрольной и опытной групп, построена качественная теоретическая зависимость I_t от I_m (см. рисунок 3.4).

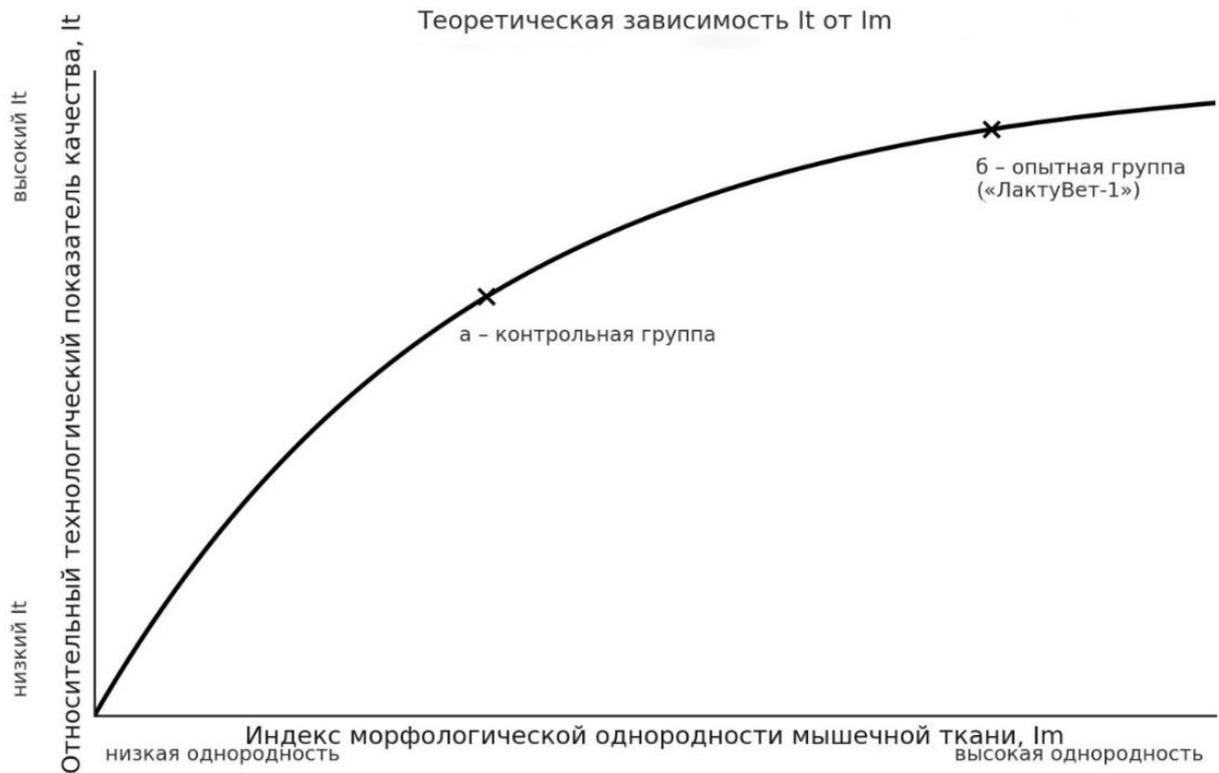


Рисунок 3.4 – Теоретическая качественная зависимость относительного технологического показателя качества мясного сырья I_t от индекса морфологической однородности мышечной ткани I_m
 а – контрольная группа (стандартный рацион); б – опытная группа (прижизненное применение добавки «ЛактуВет-1»).

Кривая показывает рост ожидаемого технологического качества при повышении морфологической однородности мышечной ткани, а положение контрольной (а) и опытной (б) групп на этой кривой иллюстрирует смещение мышц животных, получавших добавку «ЛактуВет-1», в область более упорядоченной структуры и несколько более высокого прогнозируемого уровня качества мясного сырья. В готовых изделиях такая микроструктура, как правило, проявляется в более

нежной и ровной по ощущениям текстуре, меньших потерях массы при термообработке и лучшей сочности по сравнению с мясом контрольной группы.

Таким образом, результаты гистологического исследования длиннейшей мышцы спины овец показали, что прижизненное применение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» способствует формированию более однородной микроструктуры мышечной ткани: мышечные волокна в опытной группе характеризуются выравниванием по диаметру, более тонкими и равномерными прослойками эндомизия, меньшим количеством внутримышечных жировых включений и отсутствием признаков повреждения и воспаления. Отражением этого является смещение точки, соответствующей опытной группе (б), на теоретической кривой зависимости I_t от I_m в область более высокой морфологической упорядоченности и повышенного прогнозируемого уровня технологической пригодности сырья по сравнению с контролем (а). В технологическом плане такая микроструктура обычно ассоциируется с меньшей жёсткостью, более устойчивой, «без жилок» текстурой, снижением потерь массы при термообработке, что позволяет рассматривать добавку «ЛактуВет-1» как фактор, способствующий получению более стабильного по качеству мясного продукта.

3.4 Пищевая ценность и физико-химические свойства баранины

С учётом результатов гистологического анализа, показавшего более однородные мышечные волокна и менее выраженное внутримышечное жиросодержание в опытной группе далее оценены химический состав и физико-химические параметры мясного сырья.

Результаты анализа отражены в таблице 3.5 и позволяют оценить, как введение бифидогенной добавки в рацион повлияло на химический состав и пищевую ценность мяса. Для анализа химического состава мяса и содержания макроэлементов отобраны образцы от 5 животных из каждой группы. К основным показателям, используемым для характеристики химического состава и пищевой

ценности мяса, относят массовые доли влаги, белка, жира и золы, а также энергетическую ценность [91].

Таблица 3.5 – Химический состав образцов мясного сырья контрольной и опытной групп (n = 5)

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Массовая доля влаги, %	71,4±0,5	71,5±0,5
Массовая доля белка, %	19,40±0,18	19,70±0,20
Массовая доля жира, %	7,60±0,12	7,10±0,15*
Массовая доля золы, %	1,40±0,12	1,60±0,10
Энергетическая ценность, ккал/100 г	146,0±2,6	142,7±2,8

Примечание: * статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами (* P<0,05)

Содержание влаги в опытной группе составило 71,5±0,5 %, в контрольной группе – 71,4±0,5 % (P>0,05). Уровень белка в опытной группе составил 19,70±0,20 %, что на 1,55 % выше, чем в контроле – 19,40±0,18 % (P>0,05). Содержание жира снизилось на 6,58 % и составило 7,10±0,15 % против 7,60±0,12 % в контроле (P<0,05). Энергетическая ценность в опытной группе составила 142,7±2,8 ккал, что на 2,26 % ниже контроля – 146,0±2,6 ккал (P>0,05). Выявленное снижение массовой доли жира в опытной группе количественно подтверждает гистологические наблюдения: на микропрепаратах отмечались более тонкие эндомизиальные прослойки и отсутствие выраженных жировых включений. Незначительно более высокий уровень белка при сопоставимом влагосодержании согласуется с большей долей мышечной ткани в образцах, тогда как понижение энергетической ценности объясняется именно меньшей жирностью.

Концентрация золы в опытной группе составила 1,60±0,10 %, что на 14,29 % превышает контрольный уровень 1,40±0,12 % (P>0,05). Повышение массовой доли золы отражает тенденцию к увеличению суммарного содержания минеральных веществ в мышечной ткани и может рассматриваться как признак улучшения минеральной обеспеченности мяса.

К физико-химическим показателям мяса относят рН, влагосвязывающую способность (ВСС), активность воды. Эти параметры играют важную роль в определении качества мяса, его структуры, вкусовых свойств и сроков хранения (см. таблицу 3.6).

Таблица 3.6 – Физико-химические показатели образцов мяса (n = 5),

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Активная кислотность (рН)	6,01±0,05	6,03±0,05
Активность воды (a _w)	0,985±0,003	0,987±0,004
ВСС, %	59,0±0,6	59,3±0,5

В контрольной группе показатель активной кислотности (рН) составил 6,01 ± 0,05, а в опытной – 6,03 ± 0,05. Этот параметр влияет на цвет, влагосвязывающую способность и микробиологическую стабильность продукта [92].

Активность воды (a_w) отражает долю «свободной» воды в продукте, доступной для роста микроорганизмов и протекания химических реакций. У свежего мяса a_w составляет около 0,99, а при хранении в охлаждаемых условиях уменьшается до 0,96–0,97, что позволяет обеспечить баланс между сохранностью и качеством продукта [93]. Отсутствие существенных различий между группами ожидаемо, так как рН и активность воды в первую очередь зависят от состояния мышечной ткани на момент убоя и скорости посмертного гликолиза. Эти результаты подтверждают, что применение добавки не нарушает естественные физико-химические свойства сырого мяса.

Влагосвязывающая способность (ВСС) – один из ключевых показателей качества мясного сырья. Она влияет на внешний вид сырого мяса, кулинарные свойства и ощущение сочности при жевании. В контрольной группе ВСС составила 59,0 ± 0,6 %, в опытной – 59,3 ± 0,5 %. Отсутствие статистически значимых различий по ВСС ожидаемо, поскольку этот показатель в наибольшей степени определяется реакцией среды (рН) и состоянием/интегральной структурой мышечных белков. При сопоставимых значениях рН и одинаковых технологических условиях предубойной и постубойной обработки заряд белков и их положение относительно изоэлектрической точки не меняются, что не создаёт предпосылок для сдвига ВСС [94].

Полученные данные необходимы для дальнейшего моделирования и оптимизации режимов посола и сушки мясных снеков, подбора состава и параметров сушки с учётом фактических свойств сырья, а также обеспечения стабильности текстуры и безопасности изделия.

Помимо технологических характеристик, для выбора рецептуры и позиционирования продукта важен аминокислотный профиль – соотношение незаменимых и заменимых аминокислот, определяющее полноценность белка и его биологическую ценность. Аминокислотный профиль образцов баранины представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Сравнительная характеристика аминокислотного состава образцов баранины опытной и контрольной групп (n = 5)

Наименование показателя (г/100 г мяса)	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Валин	0,819±0,025	0,831±0,026
Изолейцин	0,792±0,024	0,812±0,025
Лейцин	1,118±0,035	1,141±0,036
Лизин	1,242±0,042	1,264±0,041
Метионин	0,349±0,011	0,359±0,013
Треонин	0,699±0,022	0,715±0,020
Триптофан	0,205±0,011	0,218±0,012
Фенилаланин	0,603±0,019	0,616±0,018
Аспарагиновая кислота	1,344±0,042	1,345±0,041
Глутаминовая кислота	2,463±0,092	2,481±0,095
Серин	0,661±0,020	0,683±0,022
Оксипролин	0,286±0,009	0,291±0,008
Пролин	0,738±0,023	0,757±0,024
Цистин	0,211±0,008	0,214±0,009
Глицин	0,873±0,027	0,893±0,026
Аланин	0,998±0,031	1,015±0,032
Тирозин	0,515±0,018	0,531±0,019
Гистидин	0,476±0,015	0,483±0,016
Аргинин	1,003±0,031	1,023±0,032
Сумма количественно определённых (идентифицированных) аминокислот	15,40±0,14	15,67±0,14
Отношение суммы определённых аминокислот к массовой доле белка г/100 г белка»	79,38	79,54
Незаменимые аминокислоты, г/100 г белка	32,49	32,69

Продолжение таблицы 3.7

Заменимые аминокислоты, г/100 г белка	46,87	46,88
Белково-качественный показатель (триптофан/оксипролин)	0,717	0,749
Минимальный скор, C_{\min}	0,823	0,827

Как видно из данных таблицы 3.7, суммарное содержание определённых аминокислот в образцах мяса опытной группы составило $15,67 \pm 0,14$ г/100 г, что на 1,8 % превышает значение, полученное в контрольной группе ($15,40 \pm 0,14$ г/100 г; $P > 0,05$). При этом сумма определённых аминокислот, пересчитанная на 100 г белка, составила 79,5 г в опытной и 79,4 г в контрольной группе, что отражает долю идентифицированных аминокислот в общем белке мяса. К незаменимым аминокислотам относили валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин и гистидин. Их суммарное содержание достигало 32,5–32,7 г/100 г белка, доля заменимых аминокислот – 46,9–46,9 г/100 г белка. Отмечена тенденция к повышению уровней отдельных аминокислот: триптофан увеличился на 6,3 %, метионин – на 2,9 %, серин – на 3,3 %, треонин – на 2,3 %. Среди заменимых аминокислот наибольший прирост наблюдался у пролина (2,6 %) и тирозина (3,1 %). Умеренный рост белково-качественного показателя (отношения триптофан/оксипролин) при практически неизменном содержании оксипролина согласуется с тем, что прирост обусловлен в первую очередь миофибриллярными и саркоплазматическими белками, а не коллагеном. В целом различия носят количественный, тканево-структурный характер и согласуются с полученными ранее данными о большей доле мякоти в опытной группе, тогда как качественный аминокислотный профиль белка остаётся сопоставимым между группами.

Кроме этого, наблюдаемая тенденция к повышению содержания аминокислот в опытной группе связана с пребиотическим действием лактулозы в добавке «ЛактуВет-1», которая стимулирует пролиферацию полезных бактерий в кишечнике овец, улучшая ферментацию и усвоение азотсодержащих веществ из корма, что способствует усилению синтеза мышечных белков на этапе роста животных. Это приводит к умеренному накоплению миофибриллярных и

саркоплазматических фракций в мясе без изменений в коллагене, как подтверждается исследованиями пребиотиков у ягнят [95].

Переходя от белкового состава к минеральному профилю, в работе проанализирован макроэлементный состав мышечной ткани. Поскольку «ЛактуВет-1» содержит макроэлементы: Са, Р, К, Mg в технологически значимых количествах, далее анализ сфокусирован именно на них. Такой выбор позволяет напрямую сопоставить профиль макроэлементов добавки «ЛактуВет-1» с возможными сдвигами минерального статуса мышечной ткани.

Концентрации макроэлементов в мышечной ткани баранины контрольной и опытной групп представлены на рисунке 3.5. Для наглядного отображения относительных различий между элементами использована логарифмическая шкала по оси ординат (Y).

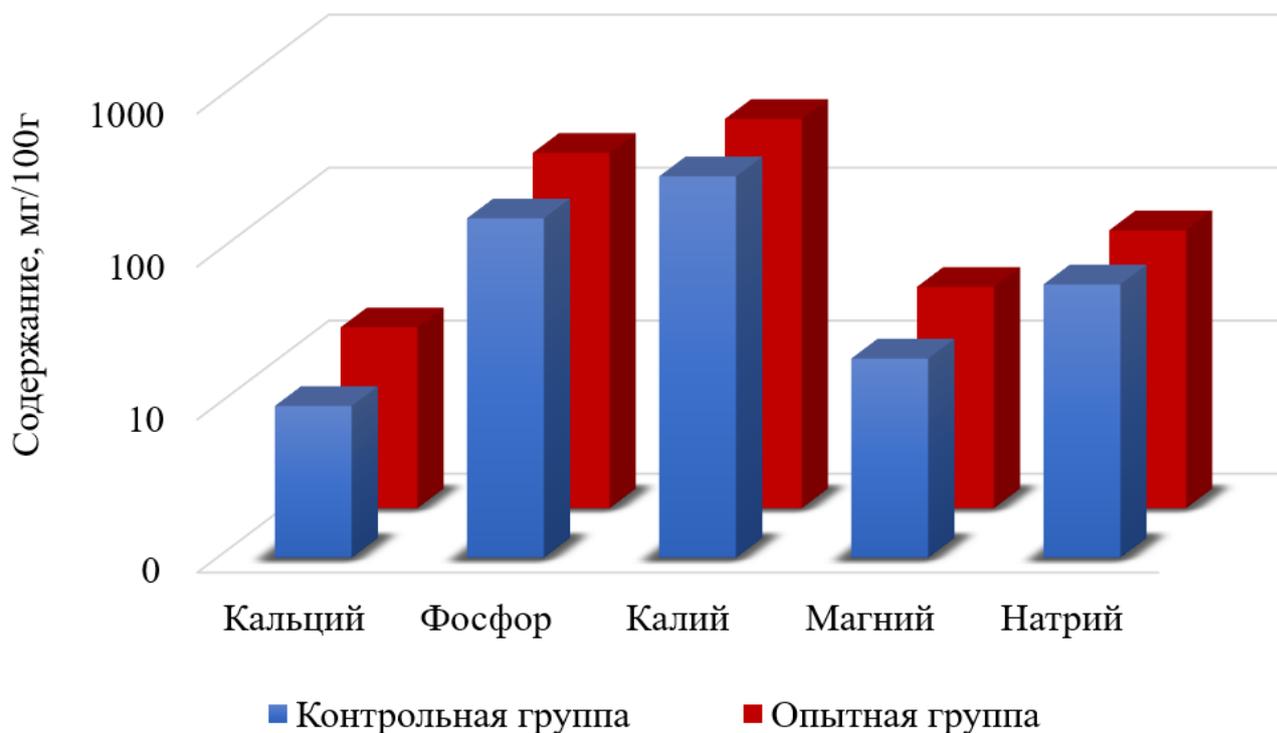


Рисунок 3.5 – Содержание макроэлементов в мышечной ткани овец эдильбаевской породы опытной и контрольной групп (n = 5)

Концентрация кальция в опытной группе была достоверно выше по сравнению с контрольной: среднее содержание составило $15,2 \pm 0,8$ мг/100 г против

9,8±0,7 мг/100 г соответственно, что соответствует увеличению на 55,1 % ($P<0,001$). Кальций жизненно важен для формирования и укрепления костной и зубной тканей, играет существенную роль в работе мышц, участвует в процессе свертывания крови и обеспечивает передачу нервных сигналов [96,97].

Содержание фосфора в опытной группе составило 210±10 мг/100 г, тогда как в контрольной – 165±9 мг/100 г, что отражает прирост на 27,3 % ($P<0,01$). Фосфор представляет собой неотъемлемый компонент минерального каркаса костей, участвует в синтезе АТФ и строительстве нуклеиновых кислот, а также критически важен для процессов выработки и расходования энергии в организме [98,99]. Концентрация магния в опытной группе составила 28,0±1,4 мг/100 г, что на 40 % выше уровня в контрольной – 20,0±1,2 мг/100 г ($P<0,01$).

Магний участвует более чем в 300 ферментативных реакциях, необходим для синтеза АТФ и нормального функционирования мышечной и нервной систем [100,101].

Уровень калия в мясе опытной группы составлял 350±15 мг/100 г, в то время как в контрольной – 310±14 мг/100 г, что соответствует увеличению на 12,9 % ($P<0,05$). Калий поддерживает осмотическое равновесие в клетках, обеспечивает регулярные сердечные сокращения, способствует эффективной передаче нервных сигналов и помогает снижать риск повышения артериального давления [102,103].

Содержание натрия в опытной группе составило 65,5±3,9 мг/100 г, что на 7,4 % превышает показатель контрольной – 61,0±3,5 мг/100 г, однако разница статистически незначима ($P>0,05$). Натрий регулирует водно-солевой баланс, мышечные сокращения, проведение нервных импульсов и поддерживает кислотно-щелочное равновесие [104,105].

Данные о содержании микроэлементов и витаминов группы В в образцах мяса приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Микроэлементный и витаминный состав образцов мышечной ткани баранины (n = 5)

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Витамины группы В		
В ₁ , мг	0,11±0,03	0,12±0,03
В ₂ , мг	0,36±0,09	0,39±0,10
В ₃ , мг	6,10±1,21	6,20±1,23
В ₅ , мг	0,24±0,04	0,29±0,05
В ₆ , мг	0,130±0,013	0,160±0,013
В ₉ , мкг	22,12±2,50	23,10±2,60
Микроэлементы		
Цинк, мг/100 г	3,8±0,5	4,0±0,6
Железо, мг/100 г	1,9±0,2	2,10±0,24

В ходе анализа витаминно-микроэлементного состава мышечной ткани баранины установлено, что концентрации витаминов группы В (тиамин – В₁, рибофлавин – В₂, ниацин – В₃, пантотеновая кислота – В₅, пиридоксин – В₆, фолиевая кислота – В₉), а также микроэлементов (цинк, железо) в контрольной и опытной группах находились в пределах референтных значений, характерных для мясного сырья молодняка овец [106]. При этом в опытной группе отмечалась тенденция к увеличению содержания всех исследованных витаминов и микроэлементов. Тем не менее, различия между группами не достигли уровня статистической значимости ($P > 0,05$).

Таким образом, включение кормовой добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец опытной группы способствовало статистически значимому увеличению концентрации кальция, магния, фосфора и калия в мышечной ткани, что свидетельствует о высокой биодоступности макроэлементов, содержащихся в составе добавки. При этом показатели влагосвязывающей способности (ВСС), рН и витаминно-микроэлементного состава мяса оставались в пределах физиологической нормы, характерной для мяса здоровых животных.

3.5 Органолептическая оценка баранины

Для оценки органолептических качеств баранины из контрольной и опытной групп была проведена дегустация варёного мяса и бульона. Органолептическая оценка проводилась по 9-балльной шкале (см. рисунок 3.6) профессорско-преподавательским составом кафедры «Технология производства и переработки продукции животноводства» ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

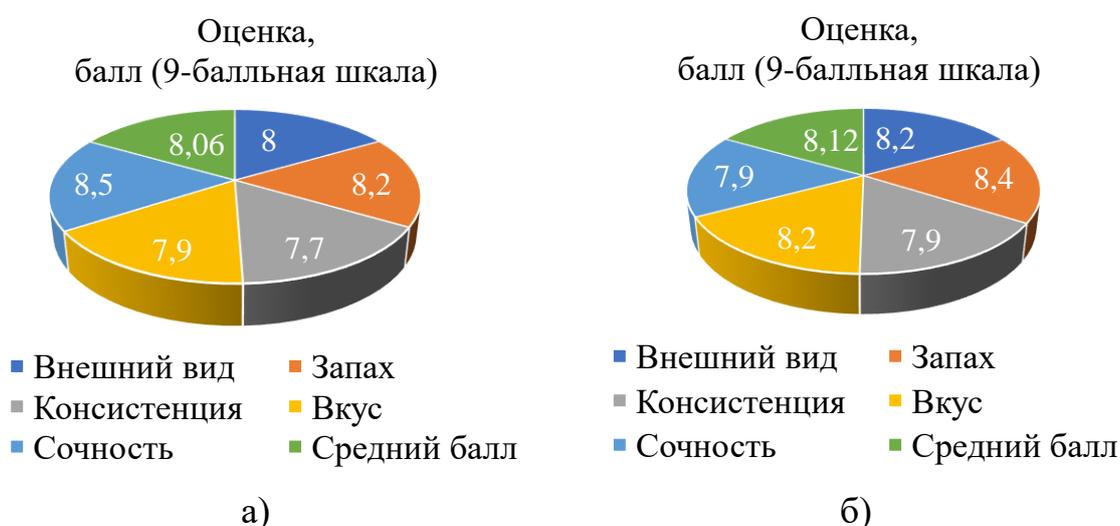


Рисунок 3.6 – Органолептическая оценка баранины
а) контрольная группа; б) опытная группа

Варёное мясо, полученное от овец контрольной и опытной групп, было оценено дегустационной комиссией по показателям сочности, запаха, вкуса, внешнего вида и консистенции. Мясо контрольной группы характеризовалось более высокой сочностью (8,5 балла) и получило высокую оценку за запах (8,2 балла). Вкус оценили в 7,9 балла, внешний вид – в 8,0 балла, консистенцию – в 7,7 балла. Средний балл контрольной группы составил 8,06. Мясо опытной группы получило наивысшие оценки за запах (8,4 балла) и вкус (8,2 балла). Внешний вид оценили в 8,2 балла, сочность и консистенцию – по 7,9 балла. Средний балл опытной группы составил 8,12, что немного превышает показатель контрольной группы. Это преимущество органолептических свойств мяса опытной группы, особенно по показателям запаха и вкуса, связывают с более низким содержанием жира, установленным в ходе химического анализа. Снижение доли жира

уменьшает интенсивность специфического запаха баранины, обусловленного определёнными жирными кислотами, что, в свою очередь, может улучшать органолептические характеристики продукта. Далее была проведена дегустационная оценка бульонов, приготовленных из мяса овец контрольной и опытной групп, её результаты представлены на рисунке 3.7.

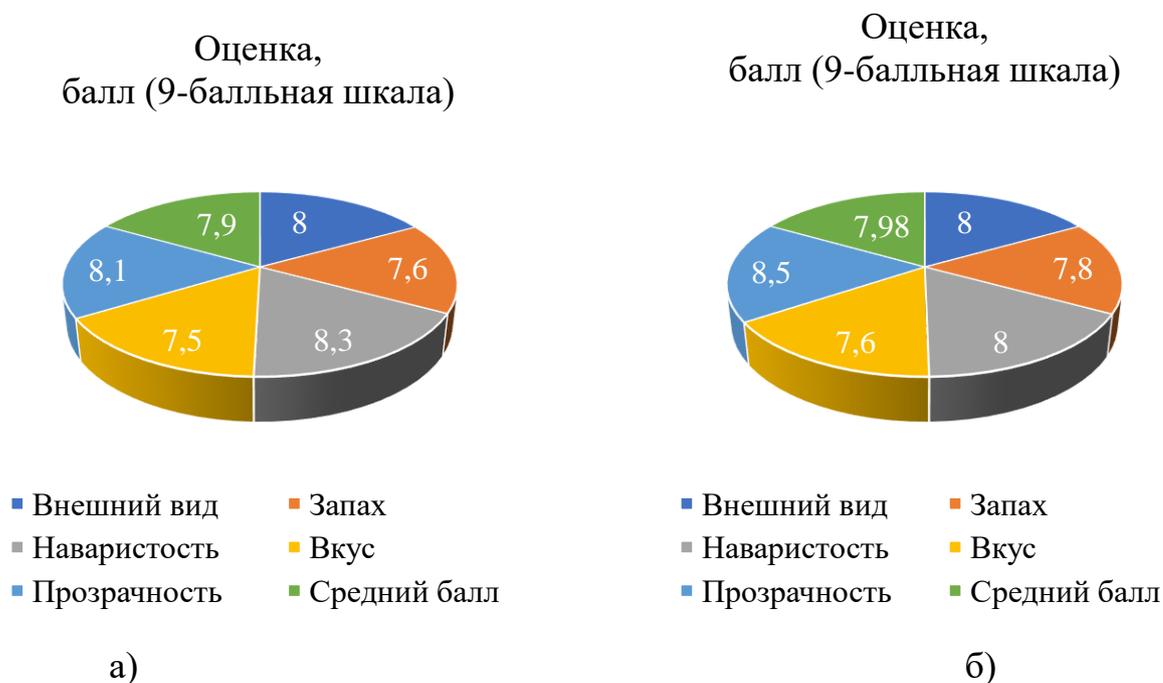


Рисунок 3.7 – Органолептическая оценка бульона
а) контрольный образец; б) опытный образец

Дегустаторы высоко оценили органолептические характеристики бульонов контрольной и опытной групп. Все параметры – внешний вид, аромат, наваристость, вкус и прозрачность – получили высокие оценки как у бульона контрольной группы, так и у бульона опытной группы. При этом бульон опытной группы отличался несколько более высокой прозрачностью. Средние баллы составили 7,9 для контрольной группы и 7,98 для опытной группы, что свидетельствует о сопоставимом уровне качества продукта в обоих вариантах.

Таким образом, результаты органолептической оценки мяса и бульона контрольной и опытной групп подтвердили высокое качество продукции в обоих вариантах. В то же время продукция опытной группы продемонстрировала несколько более высокие баллы по ряду показателей, что позволяет говорить о тенденции к улучшению сенсорных характеристик баранины на фоне применения

добавки «ЛактуВет-1» без ухудшения других параметров качества.

3.6 Микробиологические показатели баранины

Контроль микробиологической безопасности мяса является значимым этапом оценки качества продукции. В ходе эксперимента проводился анализ наличия потенциально опасных микроорганизмов в мясном сырье (см. таблицу 3.9).

Таблица 3.9 – Микробиологические показатели охлаждённого мясного сырья

Наименование показателя	Значение		Норматив
	Контрольная группа	Опытная группа	
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,9 \times 10^2$	$2,6 \times 10^2$	$\leq 1 \times 10^3$ КОЕ/г
Бактерии вида <i>Escherichia coli</i> , в 0,1 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 0,1 г
Патогенные микроорганизмы, включая <i>Salmonella spp.</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
Сульфитредуцирующие бактерии рода <i>Clostridium</i> , КОЕ/ 0,01 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 0,01 г

Исходя из данных таблицы 3.9, значения КМАФАнМ в мясном сырье опытной и контрольной групп составили $2,6 \times 10^2$ и $2,9 \times 10^2$ КОЕ/г соответственно, что существенно ниже предельно допустимого уровня $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г, установленного для охлаждённого мяса продуктов убоя. Во всех группах не выявлены бактерии вида *Escherichia coli*, патогенные микроорганизмы, включая *Salmonella spp.* и *Listeria monocytogenes*, а также сульфитредуцирующие клостридии рода *Clostridium*. Микробиологическое состояние мяса определяется прежде всего качеством убоя, разделки и охлаждения, поэтому для животных опытной и контрольной групп соблюдались единые санитарные режимы и условия хранения.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о благополучном микробиологическом состоянии исследуемого сырья: все показатели соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, регламентированным техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности

пищевой продукции» [107], и отражают надлежащее качество убоя, разделки и охлаждения туш баранины.

3.7 Исследование баранины на содержание токсичных элементов

В оценку химической безопасности мясного сырья входит контроль содержания свинца, кадмия и мышьяка, то есть нормируемых для мяса показателей безопасности. Их предельно допустимые уровни установлены техническим регламентом ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» [108].

В настоящей работе определение этих элементов выполнено для подтверждения соответствия сырья действующим гигиеническим нормативам и для исключения возможного переноса загрязнителей из воды и корма. Такой подход согласуется с международной практикой установления предельных уровней для токсичных элементов в пищевых продуктах. Актуальность мониторинга указанных элементов обусловлена их способностью к кумуляции в организме животных и человека, а также нейротоксическим, канцерогенным и мутагенным действием [109, 110]. Тяжёлые металлы могут поступать в организм животных с кормами и водой, из почвы и воздуха на территориях с техногенной нагрузкой, а также при вторичном загрязнении сырья на этапах убоя и первичной переработки при нарушении санитарно-гигиенических требований [111, 112]. В результате свинец, кадмий и мышьяк способны накапливаться в печени, почках и мышечной ткани, формируя потенциальные риски для потребителя мясной продукции.

В связи с этим исследование содержания свинца, кадмия и мышьяка в баранине проводилось с двумя целями:

– подтвердить соответствие мясного сырья действующим гигиеническим нормативам и исключить значимый перенос загрязнителей из воды и кормов в условиях опыта;

– оценить, влияет ли использование бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на уровни токсичных элементов в баранине путём сравнения показателей опытной и

контрольной групп. Анализ массовой доли свинца, кадмия и мышьяка в баранине был проведён в трёх повторностях для каждой группы (см. таблицу 3.10).

Таблица 3.10 – Концентрация токсичных элементов, мг/кг

Наименование показателя	Значение		Допустимые уровни, мг/кг	Документы по методам испытаний
	Контрольная группа	Опытная группа		
Свинец	0,030±0,003	0,020±0,002	0,5	ГОСТ 30178–96
Кадмий	менее 0,01	менее 0,01	0,05	
Мышьяк	менее 0,01	менее 0,01	0,1	ГОСТ Р 51766–2001

Установлено, что содержание токсичных элементов в мясном сырье контрольной и опытной групп не превышало предельно допустимых уровней. В контрольной группе содержание свинца составило $0,030 \pm 0,003$ мг/кг, а в опытной – $0,020 \pm 0,002$ мг/кг. Свинец относится к числу наиболее опасных токсичных элементов, способных накапливаться в органах и тканях животных, оказывая негативное влияние на здоровье человека при потреблении загрязнённого мяса [113, 114].

Концентрации кадмия и мышьяка в баранине обеих групп были ниже предела обнаружения, менее 0,01 мг/кг. Кадмий, обладая способностью устойчиво накапливаться в организме, преимущественно в почках, может вызывать нефротоксические поражения и нарушения минерального обмена, а мышьяк, известный высокой токсичностью и канцерогенными свойствами, при хроническом воздействии провоцирует поражения кожи и печени, а также повышает риск развития злокачественных новообразований [115, 116, 117].

Таким образом, в мышечной ткани животных как опытной группы, получавших кормовую добавку «ЛактуВет-1», так и контрольной группы на стандартном рационе уровни свинца, кадмия и мышьяка не превышали предельно допустимых значений, установленных действующими нормативами, что позволяет подтвердить химическую безопасность исследуемого сырья.

Выводы по главе

1. Установлено статистически значимое увеличение живой массы овец при включении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» к 90-му дню опыта: $48,62 \pm 0,31$ кг против $46,44 \pm 0,35$ кг у контроля, что составляет +4,7 % при ($P < 0,001$). Показано увеличение абсолютного и среднесуточного прироста живой массы. Абсолютный прирост составил $13,28 \pm 0,38$ кг против $11,23 \pm 0,42$ кг, что на 18,3 % выше ($P < 0,001$). Среднесуточный прирост достиг $147,6 \pm 4,2$ г/сут против $124,8 \pm 4,7$ г/сут, что на 18,2 % выше ($P < 0,001$). Отмечен кумулятивный характер эффекта по мере увеличения продолжительности применения добавки. Эти результаты обеспечивают увеличение общего выхода мясного сырья и создают предпосылки для получения туш, технологически удобных для дальнейшей переработки в мясные продукты, включая изделия длительного хранения. По суммарным показателям жирнокислотного состава отмечена направленность изменений в сторону снижения доли НЖК и увеличения доли ПНЖК, включая Омега-3 и Омега-6, при сохранении отношения Омега-6/Омега-3; статистически значимых различий между группами не выявлено ($P > 0,05$).

2. Выявлены гистологические особенности длиннейшей мышцы спины (*m. longissimus dorsi*) у животных опытной группы по сравнению с контролем: более однородная организация мышечных волокон, тонкие прослойки эндомизия, отсутствие крупных межволоконных жировых включений. Указанные признаки создают предпосылки для более равномерной усадки при нагреве, формирования устойчивой текстуры и стабильного выхода готового продукта. Такое микростроение мышечной ткани является благоприятным для технологий изготовления снеков длительного хранения, поскольку способствует формированию плотной, но не жёсткой структуры, снижению деформаций при термической обработке и высушивании.

3. Показано улучшение химического состава мяса опытной группы за счёт достоверного снижения содержания жира на 6,58 % ($P < 0,05$) при одновременной тенденции к повышению содержания белка на 1,55 % и зольности на 14,29 %.

Отмечено увеличение суммы аминокислот на 1,8 %, в том числе незаменимых: триптофана на 6,3 % и метионина на 2,9 %. В совокупности это повышает пищевую и биологическую ценность баранины и создаёт предпосылки для получения продукции из такого сырья с высоким содержанием белка и умеренной жирностью.

4. Определено повышение содержания макроэлементов в мышечной ткани опытной группы: кальция на 55,1 % ($P < 0,001$), фосфора на 27,3 % ($P < 0,01$), магния на 40 % ($P < 0,01$), калия на 12,9 % ($P < 0,05$). При этом показатели влагосвязывающей способности (ВСС) и pH остаются в пределах физиологической нормы. Такое сочетание улучшает как минеральную ценность, так и технологические свойства сырья (структура, сочность, устойчивость к потере влаги), что важно при производстве снековой мясной продукции.

5. Подтверждена высокая органолептическая оценка мяса и бульона в обеих группах. Отмечены более высокие баллы отдельных показателей у опытной группы по вкусу, сочности и внешнему виду при прозрачности бульона. Это свидетельствует о формировании сырья, позволяющего получать готовые изделия с выраженным приятным вкусом, привлекательным цветом и ароматом.

6. Установлено, что микробиологические показатели мяса опытной и контрольной групп соответствуют требованиям безопасности: значения КМАФАнМ ($2,6 \times 10^2$ и $2,9 \times 10^2$ КОЕ/г соответственно) существенно ниже предельно допустимого уровня $1,0 \times 10^3$ КОЕ/г. Не обнаружены *Escherichia coli*, патогенные микроорганизмы, включая *Salmonella spp.* и *Listeria monocytogenes*, а также сульфитредуцирующие бактерии рода *Clostridium*.

7. Установлено, что содержание токсичных элементов в мясе находится ниже предельно допустимых уровней: для свинца зафиксированы значения $0,020 \pm 0,002$ мг/кг в опытной группе и $0,030 \pm 0,003$ мг/кг в контроле, концентрации кадмия и мышьяка в обоих вариантах не превышали 0,01 мг/кг. Это обеспечивает токсикологическую безопасность баранины и подтверждает возможность использования данного сырья в промышленной переработке при минимальном риске превышения нормативов по содержанию токсичных элементов в готовой продукции.

4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ И ОЦЕНКЕ ИХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ

4.1 Технологический процесс производства мясных снеков из баранины

Для производства снеков использовалась баранина от двух групп животных: опытной – выращенных с применением кормовой бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», и контрольной – выращенных без неё.

Согласно результатам, представленным в главе 3, прижизненное применение добавки «ЛактуВет-1» в опытной группе сопровождалось тем, что мясное сырьё от овец эдильбаевской породы отличалось более высокой массовой долей белка, меньшим содержанием жира, а также увеличенным содержанием макроэлементов (Са, Р, Mg, К) при благополучных органолептических и микробиологических показателях. Эти особенности химического состава и структуры мышечной ткани обуславливали повышенную пищевую и биологическую ценность сырья и в технологическом плане рассматривались как исходные данные для обоснования рецептуры и режимов обработки баранины при производстве снеков. На этом основании баранину опытной группы приняли в качестве модельного образца с повышенным технологическим потенциалом.

С учётом современных требований к качеству и безопасности пищевой продукции была усовершенствована технология производства мясных снеков из баранины. Технология предусматривала применение стартовых культур, ферментацию до целевого уровня кислотности, конвективную сушку и вакуумную упаковку. Такое сочетание операций обеспечивало формирование вкуса и аромата, микробиологическую стабильность и длительный срок хранения.

Технологическая схема производства снеков «Изящные» представлена на рисунке 4.1.

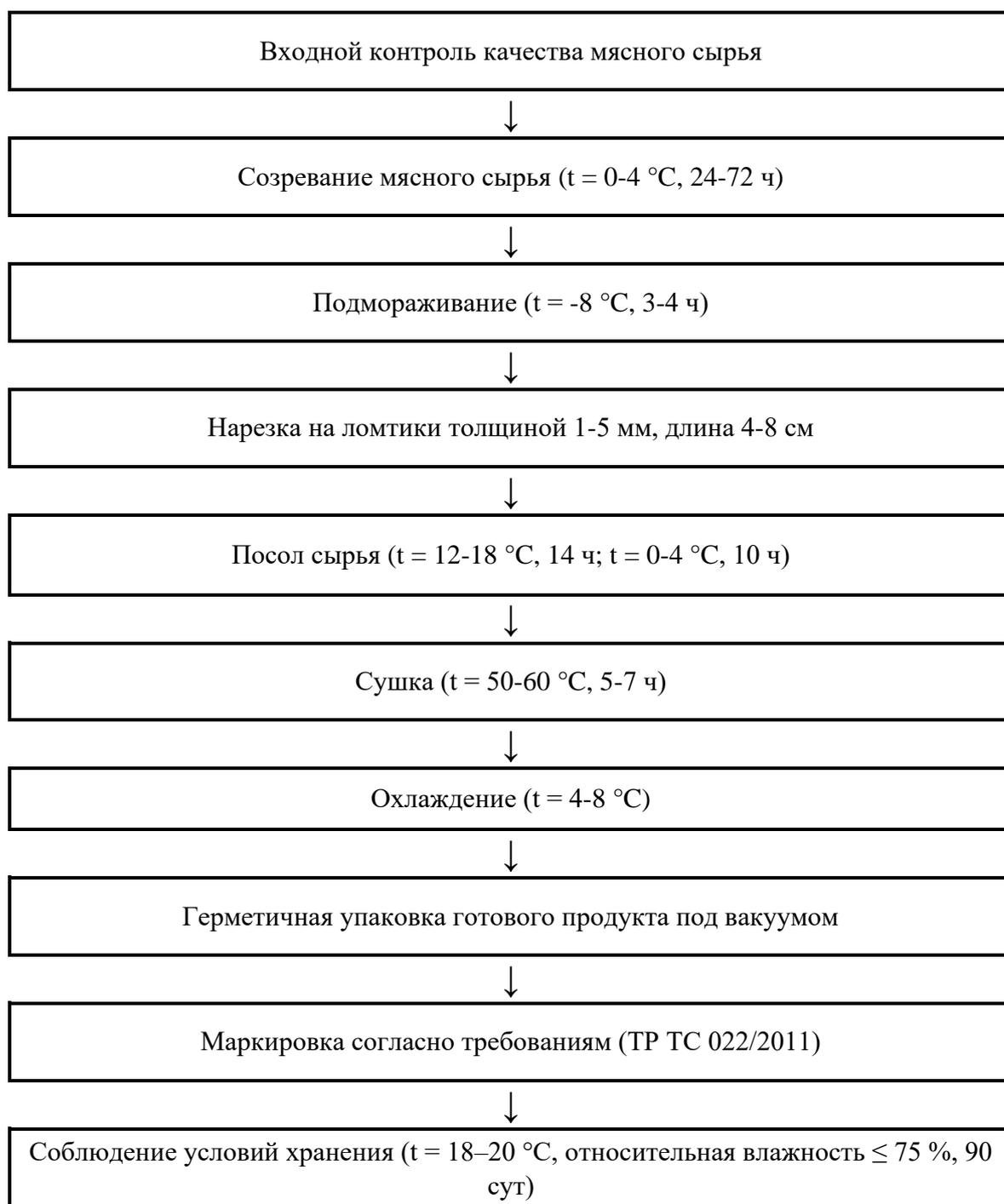


Рисунок 4.1 – Технологическая схема производства мясных снеков

Перед направлением сырья на созревание осуществляли входной контроль качества мясного сырья. Контроль включал идентификацию принадлежности сырья к контрольной или опытной группе, визуальный контроль поверхности на отсутствие загрязнений и механических повреждений. Производство осуществлялось при соблюдении санитарно-гигиенических требований нормативных документов. Подготовка помещений и оборудования выполнялась

перед каждой серией. Выдержка (созревание) мяса при 0–4 °С составляла не менее 24 ч (при необходимости – до 72 ч) для прохождения ранней стадии посмертного созревания, сопровождавшейся снижением рН до диапазона зрелости и частичным протеолизом миофибриллярных белков, что обеспечивало формирование предсказуемой, технологически управляемой текстуры исходного сырья. Согласно литературным данным, размягчение мяса в послеубойный период носит ферментативный характер и связано с активностью протеолитических ферментов, в том числе катепсинов и кальций-зависимых нейтральных протеиназ (кальпаинов) [118].

Мясное сырьё разделявали на крупные куски массой 250–300 г и подмораживали в морозильной камере при –8 °С в течение 3–4 ч. Подмораживание обеспечивало чистый срез без разрушения волокон, облегчало точную нарезку тонких ломтиков и снижало разброс диффузионных потоков на стадиях посола и сушки. После подмораживания сырьё нарезали на автоматическом слайсере на ломтики толщиной 1–5 мм и длиной 4–8 см. Нарезку проводили при температуре помещения 0–4 °С, нарезанные ломтики сразу направляли на стадию посола, в ходе которой протекала управляемая ферментация при внесении стартовых культур.

Посолочную смесь готовили по рецептуре (см. таблицу 4.1). В её состав входили соевый соус, соль пищевая, нитритно-посолочная смесь (0,6 %), стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-CA3», сахар, чёрный перец и аскорбиновая кислота.

Таблица 4.1 – Рецептура мясных снеков из баранины

Наименование показателя	Норма, кг/100 кг сырья
Основное сырьё	
Баранина высшего сорта	100,000
Итого (сырьё)	100,000
Пряности и материалы	
Соль пищевая	1,800
Нитритно-посолочная смесь (0,6 % нитрита натрия)	1,000
Сахар белый	0,200
Стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-CA3»	0,030
Соевый соус	1,000
Перец чёрный	0,100
Аскорбиновая кислота	0,050
Итого (пряности и материалы)	4,180

В качестве нормативной основы для рецептуры использовались технические условия ТУ 9213-008-51403449-2006 «Продукты мясные: чипсы мясные, чипсы колбасные», определяющие тип изделия как цельнокусковые сушёные и вяленые закуски и устанавливающие требования к безопасности, упаковке и маркировке. После этого рецептура была модифицирована с учётом прижизненно сформированных свойств мясного сырья и применения стартовых молочнокислых культур, в результате чего были скорректированы дозировки пищевой и нитритной соли, добавлен соевый соус и введена аскорбиновая кислота. Тем самым была представлена модификация рецептуры получения снеков из баранины, адаптированная к исследованному сырью [119].

В рецептуре каждый компонент выполнял чётко определённую технологическую функцию: соль пищевая усиливала вкус, повышала связывание влаги и формировала осмотический барьер. Нитритная соль, в свою очередь, стабилизировала окраску и вносила дополнительную антимикробную и антиоксидантную защиту. Сахар служил субстратом для работы стартовых культур и смягчал общий вкусовой профиль. Стартовые культуры обеспечивали управляемое снижение рН и формирование доминирующей безопасной микрофлоры. Соевый соус усиливал мясной вкус. Перец чёрный формировал характерный аромат и лёгкую пикантность. Аскорбиновая кислота действовала как восстановитель и антиоксидант [120, 121]. В совокупности подобранный состав посолочной смеси формировал вкусоароматический профиль продукта и одновременно выполнял функцию элементов барьерной технологии (осмотический, антиоксидантный и микробиологический барьеры).

Процесс посола проходил при 12–18 °С (теплое созревание) в течение 14 часов, после чего продукт выдерживали в холодильной камере при 0–4 °С в течение 10 часов. После этого посоленные и ферментированные ломтики раскладывали на сетчатые противни в один слой без соприкосновения и сушили в сушильном шкафу при 50–60 °С до достижения активности воды $a_w \leq 0,85$, при температуре (60 °С) конечная массовая доля влаги составляла 23,5–24,5 %.

Окончание сушки контролировали по стабилизации массы при повторном взвешивании. После сушки продукт охлаждали при 4–8 °С. После охлаждения снеки упаковывали под вакуумом в барьерную плёнку. Вакуумная упаковка снижала содержание кислорода, что увеличивало срок хранения без ухудшения органолептических показателей. После упаковки продукт маркировали согласно действующим требованиям, предусмотренным ТР ТС 022/2011 [122], что обеспечивало соответствие нормам и стандартам, установленным для пищевой продукции.

Маркировка включала обязательную информацию о составе, сроке годности, условиях хранения и других важных параметрах. Соблюдение требований маркировки являлось важной частью системы контроля качества, обеспечивая прозрачность производственного процесса и лёгкость отслеживания продукции в случае возникновения каких-либо проблем [123]. Хранение осуществляли в защищённом от света месте при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %. При соблюдении указанных условий хранения срок годности составлял 90 суток.

Таким образом, описанная технологическая последовательность, основанная на строгом соблюдении параметров обработки и применении корректирующих мер – стартовых культур, низкотемпературных режимов сушки и вакуумной упаковки – обеспечивала получение продукта с высокими вкусовыми характеристиками, микробиологической стабильностью и длительным сроком годности при соблюдении санитарно-гигиенических требований. Ключевые барьерные и качественные показатели формировались на стадии посола и ферментации за счёт состава посолочной смеси и параметров выдержки с достижением целевого уровня кислотности и активности воды $a_w \leq 0,85$ при массовой доле влаги 23,5–24,5 %. Дальнейшие операции были направлены на удержание достигнутых параметров и их подтверждение, после чего выполнялась количественная параметризация и многофакторная оптимизация технологических режимов.

4.2 Многофакторное обоснование рецептуры посолочной смеси методом поверхностей отклика

В ходе настоящего исследования оценивались ключевые физико-химические показатели мясного сырья и готовых снеков, включая массовую долю влаги, влагосвязывающую способность (ВСС), активную кислотность (рН) и активность воды (a_w), которые в совокупности формируют качество, безопасность и стабильность продукта на этапах технологической переработки и хранения [124].

Особое внимание уделено стадии посола, так как именно в этот период происходят изменения рН и a_w , закладываются условия для ферментации и формируется микробиологическая устойчивость продукта [125].

Процесс посола проходил при температуре 12–18 °С (тёплое созревание) в течение 14 ч, после чего продукт выдерживали в холодильной камере при температуре 0–4 °С в течение 10 ч. На первом этапе, длительностью 14 часов, мясное сырьё выдерживалось при температуре 12–18 °С. Это так называемое тёплое созревание, способствующее активации ферментативных процессов и росту стартовых бактериальных культур. В этот период происходит частичный гидролиз белков, накапливаются низкомолекулярные соединения, формируется первичный вкус и аромат, а также снижается показатель активности воды и рН, что создаёт неблагоприятные условия для развития нежелательной микрофлоры.

На втором этапе, продолжительностью 10 часов, продукт выдерживался в холодильной камере при температуре 0–4 °С. Этот период обеспечивает стабилизацию биохимических процессов, торможение активности нежелательной микрофлоры, а также равномерное проникновение посолочной смеси в структуру мяса.

Охлаждение также необходимо для подготовки сырья к последующей сушке и сохранения текстурных характеристик. Такая двухступенчатая схема позволяет обеспечить равномерность посола, повысить органолептические показатели и стабильность готового продукта при хранении.

На этапе посола наблюдаются наиболее выраженные изменения этих показателей, поскольку именно в этот период закладываются условия для ферментации и последующего стабилизирующего воздействия.

Для наглядного отображения динамики изменения ключевых физико-химических показателей (массовой доли влаги, ВСС, рН и a_w) в процессе посола продолжительностью 24 ч приведены графики (рисунки 4.2–4.5). Под ошибкой измерения в работе понимается стандартное отклонение экспериментальных данных.

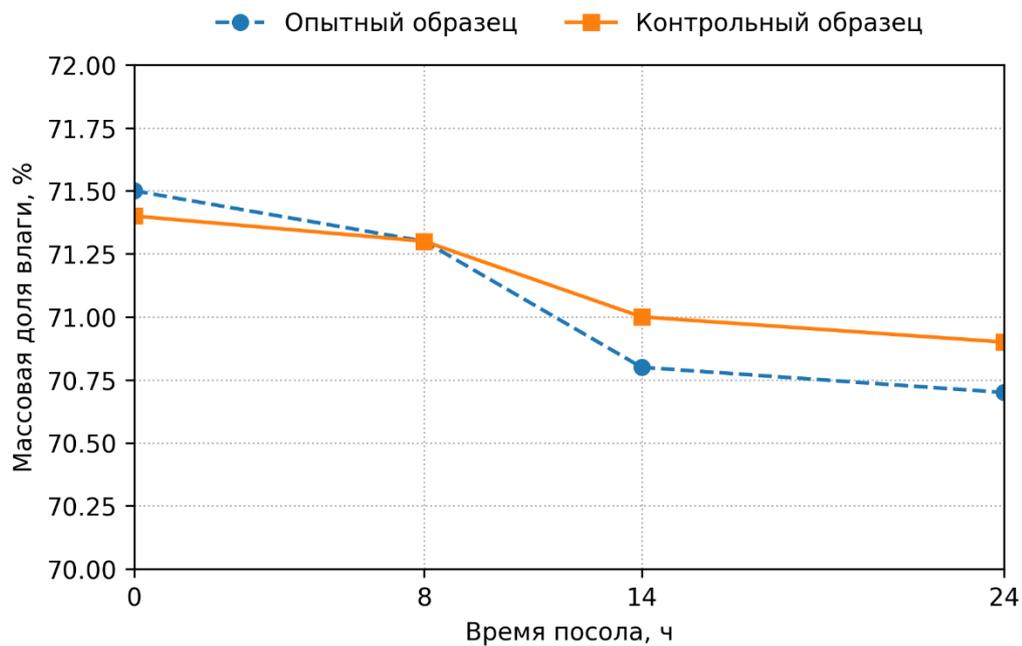


Рисунок 4.2 – Изменение массовой доли влаги, % во время посола

Двухэтапный посол способствовал снижению массовой доли влаги в опытном образце с $71,5 \pm 0,5$ % до $70,7 \pm 0,5$ %, а в контрольном – с $71,4 \pm 0,5$ % до $70,9 \pm 0,5$ %. Небольшое уменьшение содержания влаги отражает начальное осмотическое обезвоживание под действием соли и частичное связывание воды белками. Различия между опытной и контрольной группами по этому показателю минимальны, что указывает на схожий характер изменения влагосодержания при одинаковых режимах посола. При таких значениях массовой доли влаги сохраняется необходимый уровень гидратации мышечной ткани, обеспечивающий пластичную консистенцию сырья и его подготовку к последующей сушке.

На рисунке 4.3 показано изменение рН в ходе двухэтапного посола.

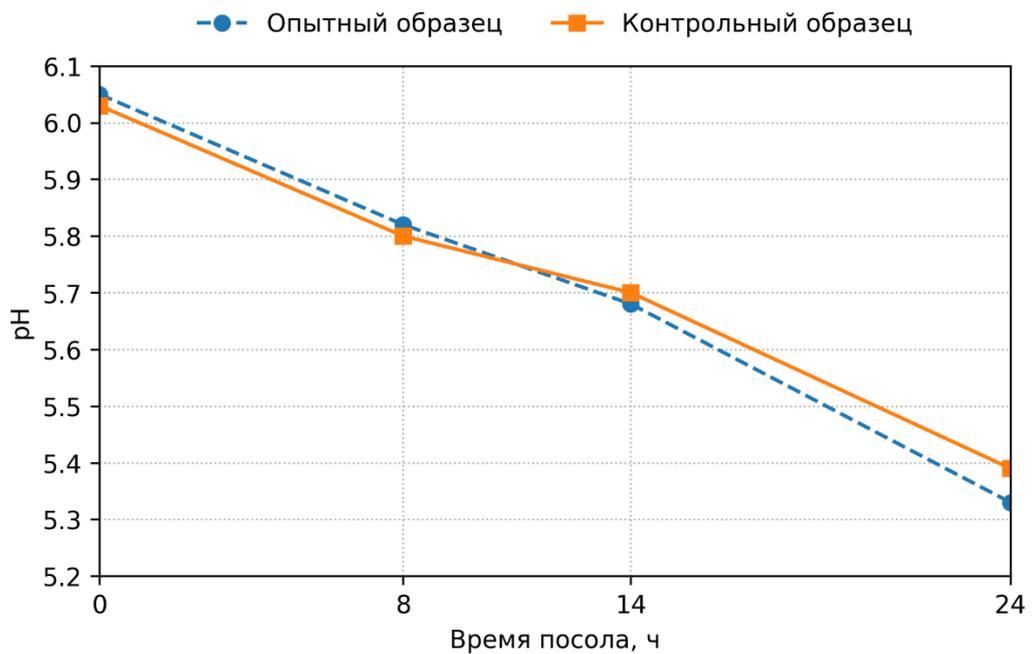


Рисунок 4.3 – Изменение рН во время посола

К концу 24 часов рН снизился до $5,33 \pm 0,10$ в опытном образце и до $5,39 \pm 0,09$ в контрольном. Данная динамика обусловлена активностью внесённых стартовых молочнокислых культур и естественными ферментативными процессами в мышечной ткани. Накопление молочной и других органических кислот приводит к смещению рН в кислую сторону. Значения рН около 5,3–5,4 относятся к технологически благоприятному диапазону для последующей сушки и способствуют подавлению части условно-патогенной микрофлоры.

Динамика изменения активности воды (a_w) представлена на рисунке 4.4.

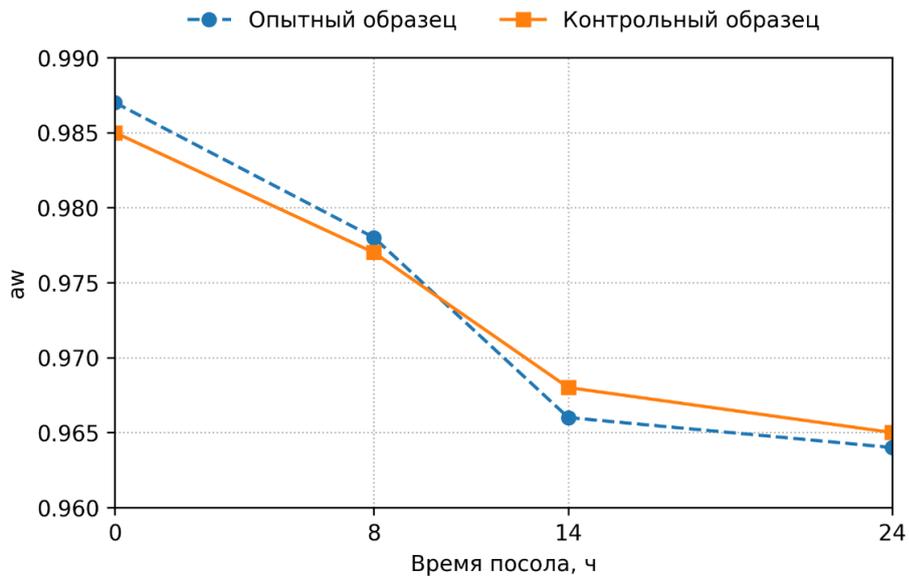


Рисунок 4.4 – Изменение активности воды (a_w) во время посола

К концу процесса a_w составила $0,964 \pm 0,008$ в опытной группе и $0,965 \pm 0,007$ в контрольной. Небольшое снижение активности воды по сравнению с исходным сырьём связано с введением соли, перераспределением влаги между свободной и связанной фракциями и начальным осмотическим обезвоживанием. Основное снижение активности воды до целевых значений происходит на этапе сушки. На рисунке 4.5 представлена динамика влагосвязывающей способности (ВСС) в процессе посола.

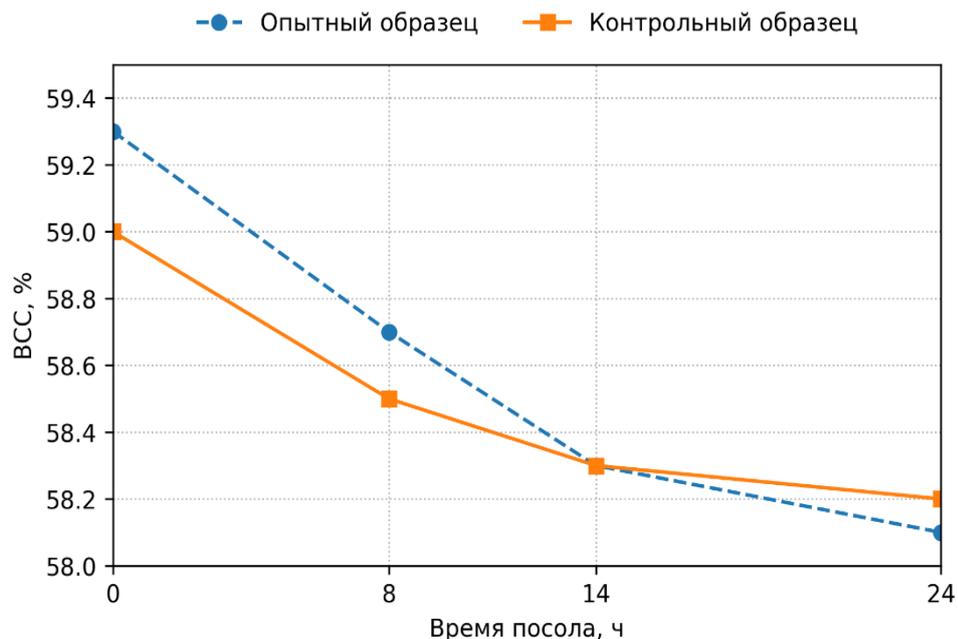


Рисунок 4.5 – Изменение влагосвязывающей способности (ВСС), % во время посола

Одновременно с изменением массовой доли влаги отмечено снижение ВСС: в опытном образце с $59,30 \pm 0,53$ % до $58,10 \pm 0,48$ %, в контрольном – с $59,0 \pm 0,6$ % до $58,20 \pm 0,49$ %. Уменьшение влагосвязывающей способности (ВСС) объясняется действием соли и падением рН относительно изоэлектрической точки белков. По мере подкисления системы и увеличения ионной силы часть воды переходит в менее связанное состояние, что типично для посола и начальной стадии ферментации мясного сырья. Для мясных снеков такое контролируемое снижение влагосвязывающей способности (ВСС) имеет ключевое технологическое значение, так как на последующем этапе сушки оно облегчает удаление свободной влаги и способствует более эффективному снижению активности воды до целевых значений.

Поскольку рН и активность воды являются основными факторами, определяющими микробиологическую устойчивость и срок хранения продукта, дальнейшие исследования были направлены на многофакторную оптимизацию рецептуры посолочной смеси по этим показателям. Для оценки влияния ключевых компонентов и последующей оптимизации рецептуры посолочной смеси применён трёхуровневый факторный план эксперимента с кодированием уровней -1 , 0 и $+1$ [126], а обработку данных, построение квадратичных регрессионных моделей и проверку их адекватности выполняли в пакете Statistica 10 (StatSoft Inc.), который широко используется в исследованиях по качеству мяса и мясных продуктов [127].

Экспериментальные данные получены в результате проведения 13 замесов мясного сырья (11 исходных + 2 повторных опыта для оценки дисперсии), каждый из которых включал двухэтапный посол (14 ч при $12-18$ °С для активации ферментов и 10 ч при $0-4$ °С для стабилизации), с последующим измерением рН и a_w в лабораторных условиях.

Стартовые культуры, сахар и соль выбраны как основные факторы, напрямую определяющие физико-химическую стабильность продукта. Соль регулирует активность воды через осмолярный эффект, подавляя рост патогенов и продлевая срок хранения, а сахар служит энергетическим субстратом для стартовых культур, так как они обеспечивают ферментацию и снижение рН для

подавления патогенов, что критично для предотвращения порчи в сушёных мясных продуктах. Соевый соус – 0,96 г/100 г (0,96 %), чёрный перец – 0,096 г/100 г (0,096 %) и аскорбиновая кислота – 0,047 г/100 г (0,047 %) во всех опытах поддерживались постоянными как компоненты, преимущественно влияющие на органолептику и антиоксидантную устойчивость. Они не оказывали статистически значимого влияния на pH и a_w , поэтому не включались в перечень варьируемых факторов.

На основе перечня факторов и уровней их варьирования (см. таблицу 4.2) и выбранной схемы эксперимента сформирована матрица планирования в кодированных значениях.

Фактор X_1 – суммарная дозировка соли, которую рассчитывали, как сумму соли (1,718 г/100 г) и нитритной соли (0,960 г/100 г). В результате суммарное содержание соли составляло 2,68 г/100 г. Такой расчёт общей солёности соответствует рекомендациям по обработке мясных продуктов, где нитритная соль интегрируется в общую солевую нагрузку [128].

Выбор стартовых культур «ПрестоСтарт FB-CA3» [129] обоснован их специализацией для мясных продуктов, включая снеки. Эти культуры, содержащие штаммы *Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus sakei* и *Staphylococcus carnosus*, отбираются за их способность быстро снижать pH, что критически важно для подавления патогенных микроорганизмов, включая *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7 и *Listeria monocytogenes*.

Дополнительная противомикробная активность обеспечивается выработкой бактериоцина педиоцина PA-1 – природного противомикробного пептида, продуцируемого штаммами *Pediococcus acidilactici* прямо в процессе брожения [130], который нарушает целостность клеточных мембран грамположительных патогенов и снижает популяцию *Listeria monocytogenes* на 2–3 lg КОЕ/г. Это делает культуру ключевым фактором оптимизации pH и безопасности рецептуры.

Таблица 4.2 – Уровни варьирования факторов

Фактор	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)
X ₁ – Соль (г/100 г)	2,48	2,68	2,88
X ₂ – Сахар (г/100 г)	0,15	0,19	0,23
X ₃ – Стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-СА3» (г/100 г)	0,012	0,0205	0,029

На основе уровней варьирования факторов была сформирована матрица планирования экспериментов (см. таблицу 4.3) в соответствии с 3-уровневым факторным дизайном, что позволило минимизировать число опытов при сохранении возможности моделирования линейных и квадратичных эффектов.

Таблица 4.3 – Матрица планирования и результаты экспериментов

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	pH (Y ₄)	a _w (Y ₅)
1	0	+1	0	5,52	0,964
2	0	+1	0	5,54	0,965
3	-1	+1	-1	5,61	0,969
4	-1	-1	-1	5,67	0,967
5	0	-1	-1	5,68	0,963
6	+1	0	0	5,5	0,96
7	+1	-1	0	5,56	0,961
8	-1	0	+1	5,39	0,968
9	+1	+1	+1	5,33	0,96
10	0	-1	-1	5,67	0,964
11	0	+1	-1	5,59	0,963
12	0	-1	+1	5,36	0,964
13	0	+1	+1	5,34	0,963

Анализ результатов матрицы планирования позволяет выявить закономерности в поведении откликов: наблюдается снижение pH при повышении концентраций стартовых культур (X_3) и сахара (X_2), а снижение a_w - при росте содержания соли (X_1). В опытах с верхними уровнями факторов (+1) достигается наиболее интенсивное подкисление, обусловленное усиленной выработкой молочной кислоты штаммами «ПрестоСтарт FB-СА3» при наличии сахара как энергетического субстрата, в то время как средние уровни соли способствуют умеренному снижению a_w за счёт осмотического эффекта, минимизируя вероятность развития патогенов без чрезмерной потери влаги.

В таблице 4.4 представлены 13 замесов в натуральных дозировках соли, сахара и стартовых культур, а также соответствующие им значения откликов pH и a_w .

Таблица 4.4 – Визуализация матрицы планирования эксперимента с фактическими значениями факторов и откликами

№ опыта	X_1 – Соль, г/100 г	X_2 – Сахар, г/100 г	X_3 – Стартовые культуры, г/100 г	Y_4 – pH	Y_5 – a_w
1	2,68	0,23	0,0205	5,52	0,964
2	2,68	0,23	0,0205	5,54	0,965
3	2,48	0,23	0,012	5,61	0,969
4	2,48	0,15	0,012	5,67	0,967
5	2,68	0,15	0,012	5,68	0,963
6	2,88	0,19	0,0205	5,50	0,960
7	2,88	0,15	0,0205	5,56	0,961
8	2,48	0,19	0,029	5,39	0,968
9	2,88	0,23	0,029	5,33	0,960
10	2,68	0,15	0,012	5,67	0,964
11	2,68	0,23	0,012	5,59	0,963
12	2,68	0,15	0,029	5,36	0,964
13	2,68	0,23	0,029	5,34	0,963

На основе данных матрицы проведена оценка эффектов факторов на отклики рН и a_w в Statistica 10, где эффекты рассчитаны для линейных (L) и квадратичных (Q) терминов в кодированных единицах (см. рисунки 4.6–4.7).

Оценка эффектов; Var.:Y4- рН; R-sqr=,98396; Adj.:96793 (Рецептура- рН) 3 3-level factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,0005266 DV: Y4- рН										
Factor	Effect	Std.Err.	t(6)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	5,510771	0,007241	761,0133	0,000000	5,493052	5,528490	5,510771	0,007241	5,493052	5,528490
(1)X1 Соль(L)	-0,038936	0,023190	-1,6790	0,144149	-0,095679	0,017807	-0,019468	0,011595	-0,047839	0,008903
X1 Соль(Q)	0,002314	0,014445	0,1602	0,877995	-0,033032	0,037660	0,001157	0,007223	-0,016516	0,018830
(2)X3 Стартовые культуры(L)	-0,266330	0,017711	-15,0373	0,000005	-0,309668	-0,222992	-0,133165	0,008856	-0,154834	-0,111496
X3 Стартовые культуры(Q)	0,051569	0,016736	3,0814	0,021624	0,010619	0,092520	0,025785	0,008368	0,005309	0,046260
(3)X2 Сахар(L)	-0,053431	0,014638	-3,6502	0,010703	-0,089248	-0,017614	-0,026715	0,007319	-0,044624	-0,008807
X2 Сахар(Q)	-0,010519	0,021635	-0,4862	0,644086	-0,063458	0,042421	-0,005259	0,010818	-0,031729	0,021210

Рисунок 4.6 – Оценка эффектов для рН

Оценка эффектов; Var.:Y5-aw; R-sqr=,95968; Adj.:91936 (Рецептура - aw) 3 3-level factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,0000006 DV: Y5-aw										
Factor	Effect	Std.Err.	t(6)	p	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95, % Cnf.Limt	+95, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,963969	0,000252	3824,745	0,000000	0,963352	0,964586	0,963969	0,000252	0,963352	0,964586
(1)X1 Соль(L)	-0,008468	0,000807	-10,492	0,000044	-0,010443	-0,006493	-0,004234	0,000404	-0,005222	-0,003247
X1 Соль(Q)	-0,000593	0,000503	-1,180	0,282785	-0,001823	0,000637	-0,000297	0,000251	-0,000912	0,000319
(2)X3 Стартовые культуры(L)	0,000335	0,000616	0,544	0,606299	-0,001173	0,001843	0,000168	0,000308	-0,000587	0,000922
X3 Стартовые культуры(Q)	0,001035	0,000582	1,776	0,126046	-0,000391	0,002460	0,000517	0,000291	-0,000195	0,001230
(3)X2 Сахар(L)	0,000035	0,000509	0,068	0,948099	-0,001212	0,001281	0,000017	0,000255	-0,000606	0,000641
X2 Сахар(Q)	-0,000634	0,000753	-0,842	0,431876	-0,002477	0,001208	-0,000317	0,000377	-0,001238	0,000604

Рисунок 4.7 – Оценка эффектов для a_w

Для рН основным фактором подкисления являются стартовые культуры ($t = -15,037$; $p = 0,000005$), с дополнительным значимым влиянием линейного эффекта сахара ($t = -3,6502$; $p = 0,010703$) и квадратичного эффекта стартовых культур ($t = -3,081$; $p = 0,0216$). В модели a_w доминирует линейный эффект соли ($t = -10,492$; $p = 0,000044$), тогда как влияние сахара и культур в этой модели статистически незначимо ($P > 0,05$). Построена квадратичная модель регрессии в кодированных единицах для рН:

$$y = 5,539681 - 0,019468 x_1 - 0,026715 x_2 - 0,133165 x_3 - 0,002314 x_1^2 + 0,010519 x_2^2 - 0,051569 x_3^2$$

где $x_1 = (\text{соль} - 2,68)/0,20$; $x_2 = (\text{сахар} - 0,19)/0,04$; $x_3 = (\text{стартовые культуры} - 0,0205)/0,0085$.

Модель представлена в стандартной полиномиальной форме по факторам x_1 , x_2 , x_3 и их квадратичным членам, что позволило учесть не только прямое влияние, но и нелинейные эффекты, как кривизну зависимости. Коэффициенты рассчитаны

методом наименьших квадратов – это стандартный способ подгонки модели к данным, который минимизирует расхождения между предсказанными и реальными значениями pH.

Принята квадратичная регрессионная модель в кодированных переменных. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,984$ (модель объясняет 98,4 % вариации pH), а дисперсионный анализ (ANOVA, см. рисунок 4.8) подтверждает адекватность – рассчитанное $F_{\text{расч}} = 61,4$ намного больше критического значения 4,28 (при уровне значимости 0,05), значит, модель не случайна.

ANOVA; Var.: Y4- pH; R-sqr=,98396; Adj:,96793 (Дисперсионный анализ - pH) 3 3-level factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,0005266 DV: Y4- pH					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)X1 Соль(L)	0,001484	1	0,001484	2,8192	0,144149
X1 Соль(Q)	0,000014	1	0,000014	0,0257	0,877995
(2)X3 Стартовые культуры(L)	0,119064	1	0,119064	226,1198	0,000005
X3 Стартовые культуры(Q)	0,005000	1	0,005000	9,4950	0,021624
(3)X2 Сахар(L)	0,007016	1	0,007016	13,3242	0,010703
X2 Сахар(Q)	0,000124	1	0,000124	0,2364	0,644086
Error	0,003159	6	0,000527		
Total SS	0,197000	12			

Рисунок 4.8 – Дисперсионный анализ (ANOVA) для pH

По результатам ANOVA ($\alpha = 0,05$) наибольшее влияние на pH оказывают стартовые культуры, значимы линейный и квадратичный эффекты, сахар вносит второй по величине вклад, значим линейный эффект, влияние соли в исследованном диапазоне статистически не подтверждено.

Построена квадратичная модель регрессии в кодированных единицах для активности воды (a_w):

$$y = 0,963840 - 0,004234 x_1 + 0,000017 x_2 + 0,000168 x_3 + 0,000593 x_1^2 + 0,000634 x_2^2 - 0,001035 x_3^2$$

В обоих уравнениях x_1 , x_2 и x_3 использованы кодированные значения факторов (диапазон от -1 до $+1$); натуральные значения заданы в г/100 г продукта (соль, сахар, стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-CA3»).

По результатам дисперсионного анализа (см. рисунок 4.9) эта модель признана адекватной эксперименту: общий $F_{\text{расч}} = 23,8$ при шести степенях свободы на модель и шести на остаток превышает критическое значение 4,28 ($\alpha = 0,05$).

ANOVA; Var.: Y5-aw; R-sqr=,95968; Adj.: 91936 (Дисперсионный анализ - aw) 3 3-level factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=,0000006 DV: Y5-aw					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)X1 Соль(L)	0,000070	1	0,000070	110,0792	0,000044
X1 Соль(Q)	0,000001	1	0,000001	1,3916	0,282785
(2)X3 Стартовые культуры(L)	0,000000	1	0,000000	0,2955	0,606299
X3 Стартовые культуры(Q)	0,000002	1	0,000002	3,1547	0,126046
(3)X2 Сахар(L)	0,000000	1	0,000000	0,0046	0,948099
X2 Сахар(Q)	0,000000	1	0,000000	0,7096	0,431876
Error	0,000004	6	0,000001		
Total SS	0,000095	12			

Рисунок 4.9 – Дисперсионный анализ (ANOVA) для a_w

По результатам ANOVA ($\alpha = 0,05$) для a_w статистически значим только линейный эффект соли. Эффекты стартовых культур и сахара – как линейные, так и квадратичные – не значимы. Коэффициенты детерминации составили: $R^2 = 0,960$ и $R^2_{adj} = 0,919$.

В результате оптимизации рецептуры с помощью RSM-моделей в Statistica 10 были выбраны следующие натуральные дозировки ключевых компонентов: соль 2,68 г/100 г (1,718 г соли + 0,960 г нитритной соли), сахар 0,19 г/100 г и стартовые культуры «ПрестоСтарт FB-СА3» 0,029 г/100 г, с фиксацией остальных ингредиентов (соевый соус 0,96 г/100 г, чёрный перец 0,096 г/100 г, аскорбиновая кислота 0,047 г/100 г).

Модель подтверждает, что на активность воды (a_w) доминирующее влияние оказывает соль. Дальнейшее целенаправленное снижение a_w достигается на этапе сушки, что подтверждено экспериментальными измерениями и обеспечивает долгосрочную стабильность готового продукта, соответствующую требованиям безопасности и срокам хранения.

Для наглядной демонстрации зависимостей откликов от факторов были построены поверхности отклика (см. рисунки 4.10-4.11) в программе Statistica 10. Эти графики позволяют визуализировать влияние пар факторов на pH и a_w .

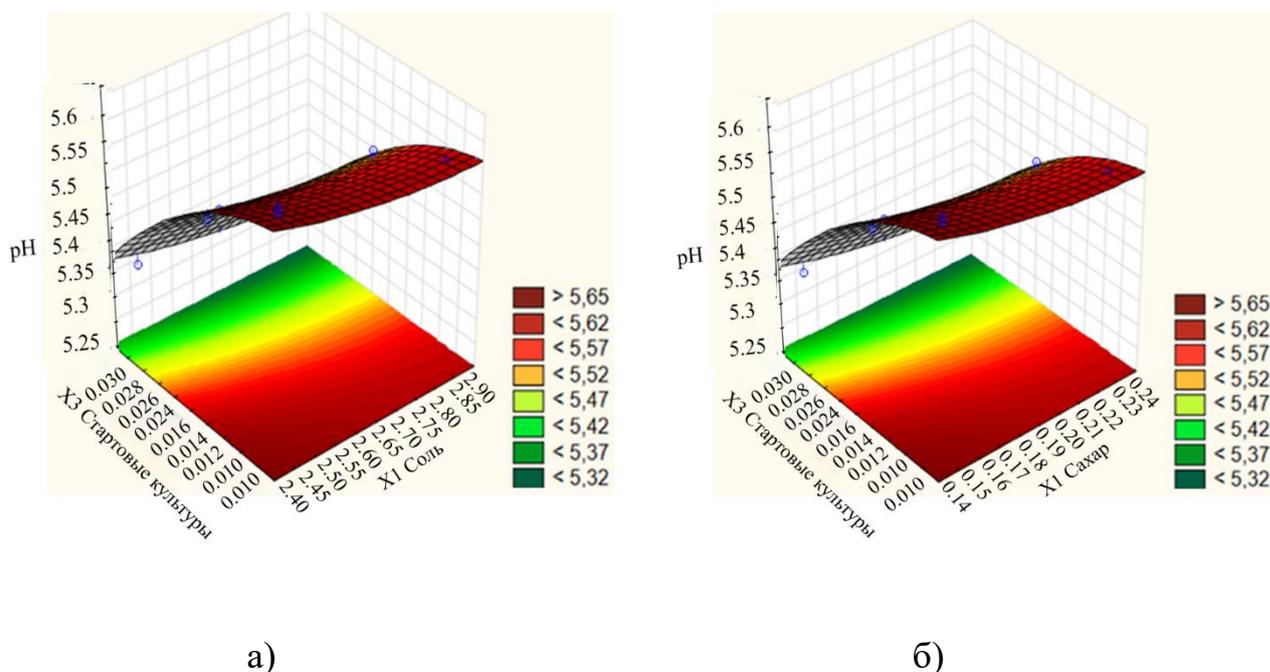


Рисунок 4.10 – Трёхмерная поверхность отклика pH

а) в зависимости от дозировок соли (X_1 , г/100 г) и стартовых культур (X_3 , г/100 г) при фиксированной концентрации сахара $X_2 = 0,19$ г/100 г; б) в зависимости от дозировок сахара (X_2 , г/100 г) и стартовых культур (X_3 , г/100 г) при фиксированной концентрации соли $X_1 = 2,68$ г/100 г

При фиксированной концентрации сахара $X_2 = 0,19$ г/100 г увеличение дозы стартовых культур X_3 вызывает выраженное снижение pH, тогда как влияние соли X_1 менее существенно и практически линейно, что соответствует оценкам коэффициентов регрессии и данным ANOVA ($p > 0,05$) для X_1 .

При фиксированном содержании соли $X_1 = 2,68$ г/100 г при росте концентраций стартовых культур X_3 и сахара X_2 pH также уменьшается, причём вклад X_3 заметно выше, чем вклад X_2 . Экспериментальные точки (маркированные символы) хорошо укладываются на расчётную поверхность, что свидетельствует об адекватности модели.

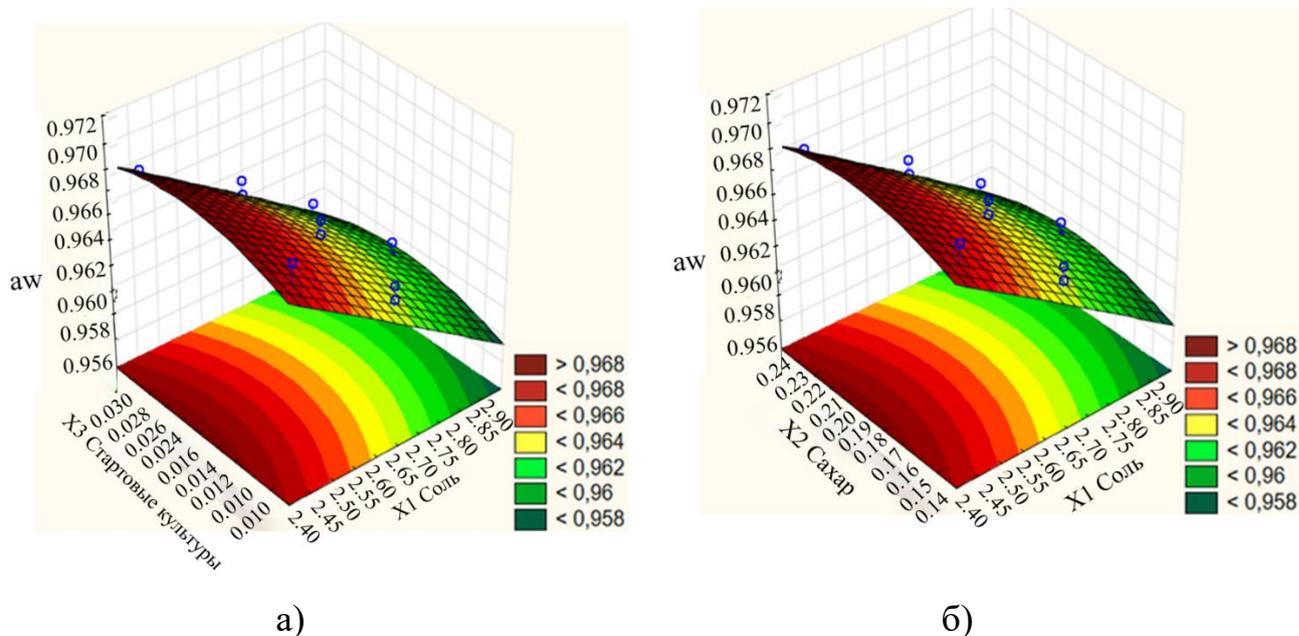


Рисунок 4.11 – Трёхмерная поверхность отклика активности воды (a_w)
 а) в зависимости от дозировок соли (X_1 , г/100 г) и стартовых культур (X_3 , г/100 г) при фиксированной концентрации сахара 0,19 г/100 г;
 б) в зависимости от концентрации соли (X_1 , г/100 г) и сахара (X_2 , г/100 г) при фиксированном уровне стартовых культур $X_3 = 0,029$ г/100 г

При фиксированном уровне сахара $X_2 = 0,19$ г/100 г и при фиксированном уровне стартовых культур $X_3 = 0,029$ г/100 г основное влияние на a_w оказывает концентрация соли X_1 : при её увеличении a_w монотонно снижается. Изменение долей сахара X_2 и стартовых культур X_3 при заданном уровне соли приводит лишь к незначительным колебаниям a_w , что согласуется с результатами регрессионного и дисперсионного анализа, где значимым фактором являлась только соль (X_1). Экспериментальные точки расположены в непосредственной близости от поверхностей отклика, подтверждая высокую степень соответствия модели экспериментальным данным.

Таким образом, сопоставление экспериментальных значений с расчётными, полученными по уравнениям регрессии, показывает высокую сходимость данных. На этом основании считаем, что теоретические (расчётные) данные хорошо согласуются с экспериментальными и адекватно описывают процесс посола. Высокая сходимость также подтверждается значениями коэффициентов

детерминации $R^2(\text{pH}) = 0,984$ и $R^2(a_w) = 0,960$ ($R^2_{\text{adj}} = 0,919$), а также тем, что экспериментальные точки располагаются в непосредственной близости от расчётных поверхностей отклика. В технологическом плане это позволяет использовать полученные регрессионные модели для прогнозирования pH и активности воды, а также для целенаправленной настройки режимов двухэтапного посола, обеспечивающих микробиологическую безопасность и стабильность продукта.

4.3 Анализ физико-химических показателей мясных снеков из баранины в процессе конвективной сушки

На следующей стадии технологического процесса осуществлялась сушка мясного сырья. В качестве способа обезвоживания была выбрана конвективная сушка, поскольку она является традиционным и технологически доступным методом производства мясных снеков: при этом подвод тепла к продукту и удаление влаги осуществляются потоком нагретого воздуха, контактирующего с поверхностью мяса. Конвективная сушка обеспечивает управляемое удаление влаги при умеренных температурах (50–60 °С), причём такой температурный диапазон является компромиссным: с одной стороны, обеспечивается достаточная интенсивность удаления влаги и повышение микробиологической стабильности продукта, с другой – сохраняются структура мышечных волокон, цвет, вкус и аромат баранины без выраженного термического повреждения. Данный метод может быть реализован на имеющемся теплотехническом оборудовании без применения более дорогостоящих способов обезвоживания (сублимационная, вакуумно-инфракрасная сушка и др.). Конвективная сушка в данных условиях позволяет целенаправленно снижать массовую долю влаги и активность воды (a_w) до требуемых нормативных значений, формируя основные барьерные факторы безопасности и обеспечивая заданные текстурные и органолептические характеристики готовых мясных снеков.

В рамках данного этапа особое внимание уделялось изменению массовой доли влаги и активности воды под воздействием различных температурных режимов и продолжительности обработки, поскольку именно эти показатели в наибольшей степени определяют микробиологическую стабильность и срок хранения продукта. Соответствующие данные представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Физико-химические показатели мясных снеков до и после 7-часовой конвективной сушки при различных температурных режимах

Наименование показателя	Группа	Значение			
		До сушки	50 °С (7 ч)	55 °С (7 ч)	60 °С (7 ч)
Влага, %	контрольная	70,9±0,5	29,10±0,35	27,8±0,3	24,10±0,28
	опытная	70,7±0,5	29,0±0,3	26,7± 0,3	23,90±0,25
Активность воды (a_w)	контрольная	0,965±0,003	0,795±0,006	0,793±0,005	0,758±0,004
	опытная	0,964±0,003	0,797±0,005	0,791±0,004	0,756±0,004

По данным научной литературы [131,132], для сушёных мясных продуктов и мясных снеков рекомендуют ориентироваться на массовую долю влаги не более 30 % и активность воды не выше 0,85, при которых рост основных патогенных бактерий существенно ограничивается и продукт может рассматриваться как микробиологически безопасный при правильном хранении.

Сопоставление экспериментальных данных с нормативными значениями показало, что массовая доля влаги во всех образцах готовых мясных снеков ниже верхнего предела 30 % на 3,0–20,3 %, а активность воды ниже порогового уровня 0,85 на 6,2–11,1 %. На этом основании можно считать, что достигнута достаточная глубина обезвоживания и сформирован технологический запас по микробиологической безопасности при хранении продукта. Стоит отметить, что комбинация низкой массовой доли влаги и пониженной активности воды обуславливает формирование характерной для мясных снеков структуры.

После 7 часов конвективной сушки при температурах 50–60 °С во всех образцах влажность снизилась с 70,7–70,9 % до 23,90–29,10 %, а активность воды – с 0,964–0,965 до 0,756–0,797.

Таким образом, массовая доля влаги уменьшилась на 41,7–46,8 процентных пунктов (на 59–66 % от исходного уровня), а a_w – на 0,17–0,21 единицы. Уже при минимальной температуре (50 °С) значения a_w составили $0,797 \pm 0,005$ (опытный образец) и $0,795 \pm 0,006$ (контрольный), то есть опустились ниже критического уровня 0,85, что предотвращает рост патогенных микроорганизмов [133].

В опытном образце при 50 °С влажность составила $29,0 \pm 0,3$ %, a_w – $0,797 \pm 0,005$; в контрольном – $29,10 \pm 0,35$ % и $0,795 \pm 0,006$ соответственно. При повышении температуры до 55 °С влажность снизилась в опытном образце до $26,7 \pm 0,3$ %, в контрольном – до $27,8 \pm 0,3$ %; значения a_w составили $0,791 \pm 0,004$ и $0,793 \pm 0,005$ соответственно. С ростом температуры с 50 до 55 °С отмечается дальнейшее снижение массовой доли влаги и активности воды, что закономерно приводит к уплотнению структуры изделия и формированию более жевательной консистенции, характерной для мясных снеков.

При 60 °С в опытном образце влажность снизилась до $23,90 \pm 0,25$ %, a_w – до $0,756 \pm 0,004$; в контрольном – до $24,10 \pm 0,28$ % и $0,758 \pm 0,004$ соответственно. Такие значения массовой доли влаги и активности воды указывают на более глубокое обезвоживание по сравнению с режимами 50 и 55 °С и сопровождаются уменьшением остаточного содержания влаги и повышением доли сухих веществ в продукте. Более высокая доля сухих веществ приводит к более концентрированному вкусоароматическому профилю, что может быть использовано при целенаправленном формировании органолептических свойств снеков. С технологической точки зрения полученные данные следует учитывать при выборе режима сушки, поскольку степень обезвоживания в данном случае определяет как выход готового продукта, так и его текстурные и вкусовые характеристики и, следовательно, потребительскую оценку изделия.

Для наглядного представления снижения активности воды (a_w) в опытном и контрольном образцах мясных снеков в процессе конвективной сушки при температурах 50, 55 и 60 °С построен график (см. рисунок 4.12).

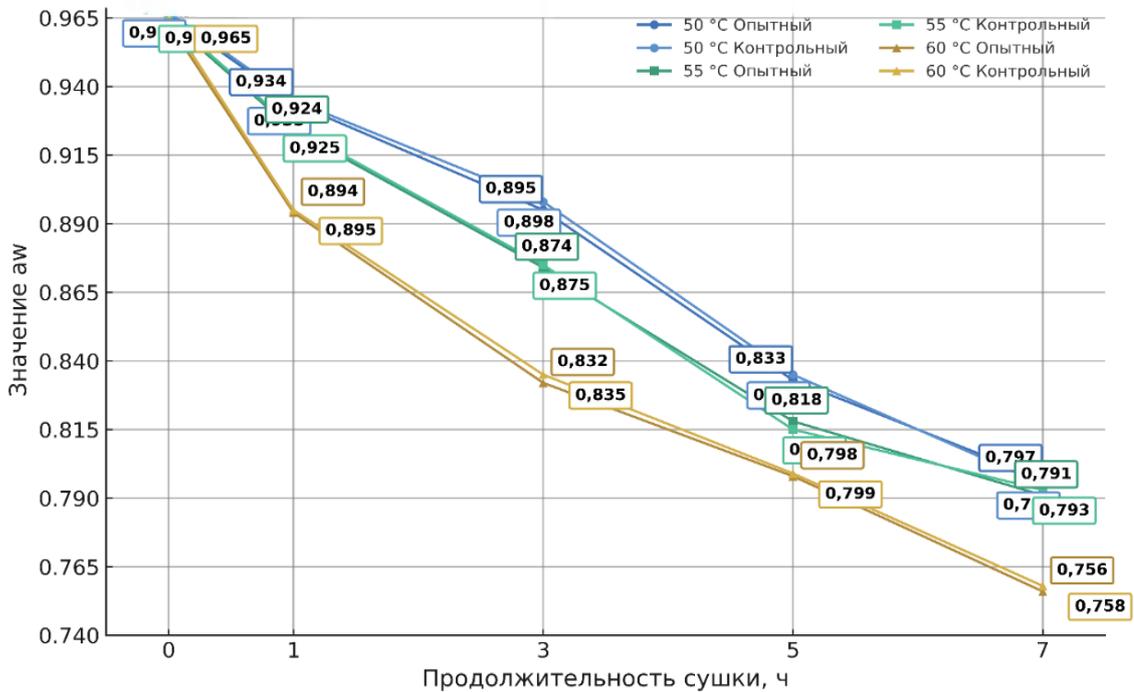


Рисунок 4.12 – Изменение активности воды в мясных снеках в процессе конвективной сушки

Во всех исследованных температурных режимах наблюдается монотонное снижение a_w : уже к пятому часу сушки её значение во всех вариантах опускается ниже порогового уровня 0,85, а к концу 7-часовой обработки достигает диапазона около 0,76–0,80 в зависимости от температуры. Кривые для опытного и контрольного образцов располагаются близко друг к другу, что указывает на сходный характер обезвоживания при одинаковых режимах сушки.

На рисунке 4.13 представлена динамика изменения массовой доли влаги в опытных и контрольных образцах мясных снеков в процессе конвективной сушки от 0 до 7 ч при температурах 50, 55 и 60 °С.

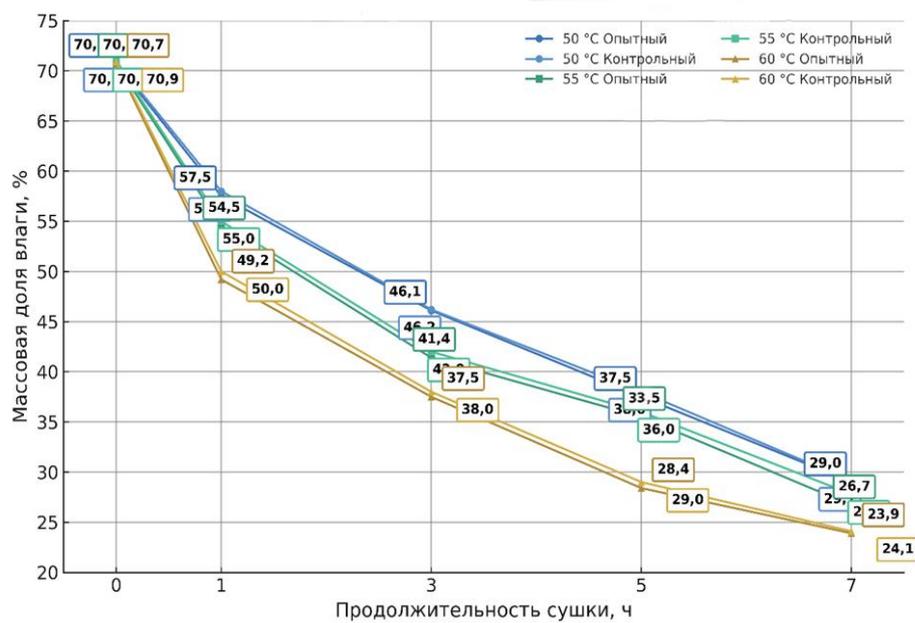


Рисунок 4.13 – Динамика изменения массовой доли влаги в мясных снеках в процессе конвективной сушки

В начальный период (первые 1–3 ч) наблюдается наиболее интенсивное снижение влажности, затем скорость дегидратации постепенно уменьшается по мере приближения к равновесному содержанию влаги. Более высокие температуры сушки обеспечивают более быстрое удаление влаги и более низкие конечные значения её массовой доли по сравнению с более мягким режимом 50 °С, что приводит к формированию более сухой и плотной консистенции продукта, тогда как при 50 °С изделие остаётся более мягким.

Таким образом, проведённые исследования показали, что конвективная сушка в течение 7 часов при температуре 50–60 °С обеспечивает снижение массовой доли влаги и активности воды до уровней, характерных для сушёных мясных продуктов и соответствующих ориентировочным нормативным требованиям. Установлено, что повышение температуры с 50 до 60 °С ускоряет процесс дегидратации и ведёт к формированию более сухой и плотной структуры, тогда как при более мягком режиме 50 °С продукт сохраняет более мягкую консистенцию. Полученные зависимости изменения влажности и активности воды от времени и температуры сушки позволяют целенаправленно регулировать

режимы обработки для получения мясных снеков с заданным сочетанием сроков хранения и текстурных характеристик.

4.4 Анализ химического состава и пищевой ценности мясных снеков из баранины

Для комплексной оценки пищевой и потребительской ценности готового продукта определялось содержание влаги, белка, жира и золы в маринованном сырье и мясных снеках из баранины, высушенных при 60 °С, а также устанавливалась их энергетическая ценность (см. таблицу 4.6). Эти показатели рассматривались как основные характеристики химического состава и энергетической плотности мясных снеков.

Таблица 4.6 – Химический состав маринованного сырья и мясных снеков из баранины

Наименование показателя	Значение				
	Массовая доля влаги, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля золы, %	Энергетическая ценность, ккал/100 г
Маринованное мясное сырье до сушки (опытный)	70,7±0,5	20,10±0,20	7,10±0,15	2,10±0,10	144,3
Маринованное мясное сырье до сушки (контрольный)	70,90±0,48	19,70±0,19	7,60±0,16	1,80±0,12	147,2
Снеки «Изящные» после сушки (опытный образец)	23,90±0,25	55,0±0,5	13,60±0,15	7,50±0,10	342,4
Снеки после сушки (контрольный образец)	24,10±0,28	54,30±0,44	14,60±0,16	7,0±0,1	348,6

После семичасовой конвективной сушки между опытным и контрольным образцами мясных снеков сохранялись различия в химическом составе. В частности, опытный образец, полученный из мяса животных, выращенных с применением кормовой добавки, содержал больше белка – 55,0 % против 54,3 % в контрольном, что составляет относительное увеличение на 1,3 %. Несмотря на небольшую величину разницы, это отражает повышение доли белка в сухом веществе продукта и означает, что при одинаковой массе порции потребитель

получает больше нутриентов белковой природы. Для мясных снеков, которые употребляют в относительно небольших количествах и характеризуются высокой степенью обезвоживания, увеличение содержания белка на единицу массы особенно важно, поскольку повышает его пищевую и биологическую ценность за счёт увеличения доли полноценного животного белка без увеличения объёма потребляемой пищи.

Массовая доля золы также была выше – 7,5 % по сравнению с 7,0 % в контрольном, то есть на 7,1 %. Повышение содержания золы отражает более высокую концентрацию минеральных веществ в продукте и указывает на улучшение его минеральной ценности [134]. Этот результат согласуется с ранее установленным повышением уровня макроэлементов в мышечной ткани животных опытной группы при использовании кормовой добавки и показывает, что сформированные прижизненно различия по минеральному составу сохраняются и в готовых мясных снеках.

При этом содержание жира в опытном образце оказалось ниже (13,60 % против 14,60 %), что соответствует снижению на 6,9 %. Более низкая массовая доля жира ведет к уменьшению энергетической плотности продукта и снижает жировую нагрузку на рацион потребителя. В сочетании с повышенным содержанием белка это формирует более благоприятное соотношение белка и жира в мясных снеках из опытного сырья и позволяет рассматривать их как более сбалансированный по нутриентному составу продукт.

Энергетическая ценность снеков из опытного сырья была несколько ниже (342,4 ккал против 348,6 ккал), что, вероятно, связано с меньшим содержанием жира. В процессе сушки энергетическая ценность мясных снеков закономерно возрастает за счёт концентрации белка и жира в сухом веществе, что является характерной особенностью сушёных мясных изделий.

Выход готового продукта после сушки составил $37,9 \pm 0,6$ % для опытного образца и $38,3 \pm 0,6$ % для контрольного. Незначительное различие может быть обусловлено более высоким содержанием жира в контрольном образце, способствующим меньшим потерям массы при удалении влаги. В технологическом

плане данное различие следует учитывать при расчёте выхода готовой продукции и планировании сырьевой нагрузки.

Для комплексной оценки пищевой ценности мясных снеков, помимо базовых показателей химического состава и энергетической ценности, было проведено исследование минерального профиля контрольного и опытного образцов (см. таблицу 4.7). Особое внимание уделено содержанию макроэлементов (кальций, магний, фосфор, калий, натрий), концентрация которых в исходном сырье опытного образца была повышена за счет применения кормовой добавки в рационе животных. Кроме того, для каждого макро- и микроэлемента рассчитана степень удовлетворения суточной потребности взрослого человека: содержание нутриента в 100 г продукта сопоставляли с рекомендованной нормой потребления, что позволило выразить обеспеченность организма в процентах.

Таблица 4.7 – Минеральный состав мясных снеков из баранины

Наименование показателя	Значение				
	Контрольный образец	Опытный образец	Суточная норма (взрослые)	% от суточной нормы контрольный	% от суточной нормы опытный
Кальций, мг	23,53±0,98	35,92±1,10	1000	2,4	3,6
Магний, мг	47,29±1,62	65,18±1,90	400	11,8	16,3
Фосфор, мг	396,23±12,24	496,72±13,57	800	49,5	62,1
Калий, мг	733,29±19,11	814,70±20,38	3500	21,0	23,3
Натрий, мг	1259,40±14,55	1266,60±14,61	2300	54,8	55,1
Цинк, мг	4,12±0,16	4,46±0,16	15	27,5	29,7
Железо, мг	2,86±0,08	2,97±0,08	14	20,4	21,2

Содержание кальция в опытном образце составило 35,92±1,10 мг/100 г, что на 52,7 % выше, чем в контрольном образце (23,53±0,98 мг/100 г). Опытный образец обеспечивает 3,6 % суточной потребности, контрольный – 2,4 %.

Содержание магния в опытном образце составило 65,18±1,90 мг/100 г, что на 37,8 % превышает уровень контрольного образца (47,29±1,62 мг/100 г). Доля суточной потребности составляет 16,3 % для опытного образца и 11,8 % для контрольного.

Содержание фосфора в опытном образце составило 496,72±13,57 мг/100 г, что на 25,4 % выше по сравнению с контрольным образцом (396,23±12,24 мг/100

г). Опытный образец покрывает 62,1 % суточной потребности, контрольный – 49,5 %.

Содержание калия в опытном образце составило $814,70 \pm 20,38$ мг/100 г, что на 11,1 % выше, чем в контрольном образце ($733,29 \pm 19,11$ мг/100 г). Доля суточной потребности составляет 23,3 % для опытного образца и 21,0 % для контрольного.

Содержание натрия в опытном образце составило $1266,60 \pm 14,61$ мг/100 г против $1259,40 \pm 14,55$ мг/100 г в контрольном образце, что соответствует увеличению на 0,6 %. Опытный образец обеспечивает 55,1 % от максимально допустимой суточной нормы, контрольный образец – 54,8 %.

Содержание цинка в опытном образце составило $4,46 \pm 0,16$ мг/100 г, что на 8,3 % выше показателя контрольного образца ($4,12 \pm 0,16$ мг/100 г). Опытный образец обеспечивает 29,7 % суточной потребности, контрольный – 27,5 %.

Содержание железа в опытном образце составило $2,97 \pm 0,08$ мг/100 г, что на 3,8 % выше показателя контрольного образца ($2,86 \pm 0,08$ мг/100 г). Опытный образец покрывает 21,2 % суточной потребности, контрольный – 20,4 %.

Повышение концентрации макроэлементов в опытных образцах может быть объяснено сразу двумя факторами: во-первых, изначально более высоким содержанием минеральных веществ в используемом сырье, установленным на предыдущем этапе исследования; во-вторых, снижением массовой доли влаги после сушки (до 23,90 %), что способствует увеличению их концентрации за счёт относительного возрастания доли сухих веществ, включая минеральные компоненты.

Важно отметить, что режим термической обработки, использованный при производстве снеков (60 °С), не привел к разрушению минеральных соединений. Кроме того, макроэлементы в отличие от большинства витаминов (особенно водорастворимых С и В-группы), являются термостабильными соединениями и при обработке продуктов нагревом до 100 °С сохраняются в очень высокой степени. Согласно данным таблицы коэффициентов сохранности пищевых веществ, разработанной Министерством сельского хозяйства США [135] при термической обработке пищевых продуктов (варке, запекании, тушении и других

способах нагрева) в диапазоне температур до 100 °С макроэлементы, такие как кальций, магний, фосфор, калий и натрий, сохраняются в продукте в среднем на уровне 90–95 %. Цинк и железо, как микроэлементы, демонстрируют схожую устойчивость, с тенденцией к увеличению концентрации при правильной обработке, что делает их термостабильными.

В то же время потери витаминов группы В и С при аналогичных условиях могут достигать 40 % [136]. Это позволяет заключить, что выбранный температурный режим сушки (60 °С) обеспечивает практически полную сохранность макро- и микроэлементов в мясных снеках и данные минеральные вещества обладают высокой термостабильностью и практически не разрушаются при нагреве. Существенные потери элементов, как правило, обусловлены не химическим распадом, а вымыванием их с мясным соком или другими жидкими фракциями продукта.

Для оценки потерь макро- и микроэлементов при мариновании в условиях смешанного посола (14 ч при 12–18 °С, затем 10 ч при 0–4 °С) были приняты следующие ориентировочные значения: 2–3 % (для расчётов принято значение 2,5 %) для калия и магния, а также до 1 % для кальция, фосфора, цинка и железа. Эти значения отражают минимальное вымывание минералов, обусловленное ограниченным количеством экссудата в условиях смешанного посола с преобладанием сухого метода, без добавления воды и рассола.

Добавление соли (1,718 г/100 г) вызывает незначительное осмотическое выделение влаги, в то время как соевый соус (0,960 г/100 г - менее 1 %) вносит минимальный объём жидкой фазы, которая частично реабсорбируется мышечной тканью, тем самым ограничивая диффузию растворимых компонентов [137].

Калий и магний, как наиболее водорастворимые ионы, теряются в большей степени, тогда как кальций, фосфор, цинк и железо, связанные с белковыми и фосфопротеиновыми структурами, менее подвержены миграции в экссудат [138].

Концентрация натрия в продукте повышается за счёт внесения соли (1,718 г) и нитритной соли (0,960 г), что, в частности, отражается в более высокой зольности маринованного сырья (1,8–2,1 %). Это свидетельствует о том, что метод

смешанного посола с добавлением соевого соуса (менее 1 % от массы) обеспечивает минимальные потери минералов, поэтому в расчётах потери при посоле принимали равными 2,5 % для калия и магния и до 1 % для кальция, фосфора, цинка и железа. Данная технология минимизирует вымывание минералов, что отражается в сохранении повышенного содержания макроэлементов в образцах. Данный метод обработки демонстрирует эффективность в сохранении пищевой ценности продукта.

Для оценки содержания витаминов группы В в продукте проведён анализ, результаты которого представлены в таблице 4.8.

Также рассчитана степень удовлетворения суточной потребности взрослых: содержание каждого витамина в 100 г продукта сопоставлено с рекомендованной нормой и выражено в процентах, что позволяет определить долю ежедневной потребности, покрываемую мясными снеками из баранины.

Таблица 4.8 – Витаминный состав мясных снеков из баранины

Наименование	Значение				
	Контрольный образец	Опытный образец	Суточная норма (взрослые)	% от суточной нормы (Опытный образец)	% от суточной нормы (Контрольный образец)
В ₁ (тиамин), мг	0,14±0,03	0,15±0,03	1,2	12,5 %	11,7 %
В ₂ (рибофлавин), мг	0,35±0,07	0,38±0,08	1,3	29,2 %	26,9 %
В ₃ (ниацин), мг	6,8±1,3	6,9±1,4	16	43,1 %	42,5 %
В ₅ (пантотеновая кислота), мг	0,42±0,06	0,45±0,07	5	9,0 %	8,4 %
В ₆ (пиридоксин), мг	0,24±0,04	0,26±0,04	1,7	15,3 %	14,1 %
В ₉ (фолиевая кислота), мкг	30,1±3,5	32,5±3,8	400	8,1 %	7,5 %

Различия в содержании витаминов группы В между контрольным и опытным образцами оказались несущественными. Профили тиамин, рибофлавин, ниацин, пантотеновой кислоты, пиридоксин и фолиевой кислоты в обеих группах схожи и

находятся в диапазоне 7–45 % от рекомендуемой суточной нормы, что свидетельствует о сбалансированности мясных снеков по содержанию витаминов группы В.

Дополнительно к витаминному составу важным критерием пищевой ценности продукта является аминокислотный профиль.

В таблице 4.9 представлено содержание аминокислот в мясных снеках.

Таблица 4.9 – Аминокислотный состав мясных снеков из баранины

Наименование показателя г/100 г продукта	Значение	
	Контрольный образец	Опытный образец
Валин	2,27±0,07	2,26±0,07
Изолейцин	2,20±0,07	2,22±0,07
Лейцин	3,11±0,10	3,14±0,10
Лизин	3,46±0,12	3,47±0,11
Метионин	0,98±0,04	0,99±0,04
Треонин	1,96±0,06	1,96±0,06
Триптофан	0,60±0,03	0,60±0,03
Фенилаланин	1,70±0,05	1,71±0,05
Аспарагиновая кислота	3,68±0,11	3,68±0,11
Глутаминовая кислота	6,76±0,26	6,81±0,26
Серин	1,87±0,06	1,88±0,06
Оксипролин	0,80±0,02	0,81±0,02
Пролин	2,07±0,06	2,08±0,06
Цистин	0,59±0,02	0,59±0,02
Глицин	2,44±0,07	2,46±0,07
Аланин	2,79±0,09	2,81±0,09
Тирозин	1,44±0,05	1,45±0,05
Гистидин	1,33±0,04	1,34±0,04
Аргинин	2,81±0,09	2,82±0,09
Сумма аминокислот, г	42,8±0,4	43,1±0,4
Незаменимые аминокислоты, г/100 г белка	32,43	32,16
Заменимые аминокислоты, г/100 г белка	46,50	46,16
Отношение суммы определённых аминокислот к массовой доле белка г/100 г белка»	78,82	78,36
Белково-качественный показатель (триптофан/оксипролин)	0,750	0,741
Минимальный скор, C_{min}	0,818	0,816

Содержание всех основных аминокислот в контрольном и опытном образцах находится на сопоставимом уровне. Незначительные различия, выявленные по отдельным аминокислотам, таким как пролин, аланин и гистидин, не превышают допустимых биологических колебаний и не являются статистически значимыми.

Особое внимание заслуживает суммарное содержание аминокислот: в контрольном образце оно составило $42,8 \pm 0,4$ г/100 г, а в опытном – $43,1 \pm 0,4$ г/100 г. Подобная разница укладывается в границы аналитической погрешности, что позволяет говорить о стабильности аминокислотного профиля продукта после тепловой обработки. Известно, что мясные снеки обладают длительным сроком хранения [139]. В связи с этим мы исследовали концентрации минералов и витаминов в снеках «Изящные» после трёх месяцев хранения (см. таблицу 4.10).

Таблица 4.10 – Витаминно-минеральный состав мясных снеков (опытный образец) после 3 месяцев хранения

Наименование показателя	Значение		
	Опытный образец	Через 3 месяца хранения	Потери, %
Магний, мг	$65,18 \pm 1,90$	$58,21 \pm 1,70$	10,71
Фосфор, мг	$496,72 \pm 13,57$	$459,76 \pm 12,57$	7,4
Кальций, мг	$35,92 \pm 1,10$	$28,80 \pm 0,88$	19,84
Калий, мг	$814,70 \pm 20,38$	$672,90 \pm 16,84$	17,4
Натрий, мг	$1266,60 \pm 14,61$	$1136,50 \pm 13,11$	10,3
Цинк, мг	$4,46 \pm 0,16$	$3,91 \pm 0,14$	12,4
Железо, мг	$2,97 \pm 0,08$	$2,63 \pm 0,07$	11,45
В1 (тиамин), мг	$0,15 \pm 0,03$	$0,125 \pm 0,025$	16,5
В2 (рибофлавин), мг	$0,38 \pm 0,08$	$0,35 \pm 0,07$	7,89
В3 (ниацин), мг	$6,9 \pm 1,4$	$6,27 \pm 1,27$	9,1
В5 (пантотеновая кислота), мг	$0,45 \pm 0,07$	$0,37 \pm 0,06$	17,78
В6 (пиридоксин), мг	$0,26 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,03$	15,4
В9 (фолиевая кислота), мкг	$32,5 \pm 3,8$	$27,1 \pm 3,2$	16,7

Установлено, что потери всех исследуемых компонентов – как макро- и микроэлементов (Ca, Mg, P, K, Na, Zn, Fe), так и водорастворимых витаминов (В₁, В₂, В₃, В₅, В₆, В₉) – не превысили 20 % от исходного уровня, что подтверждает хорошую сохранность пищевой ценности продукта.

Минеральные вещества продемонстрировали ожидаемую устойчивость к деградации: содержание магния (10,7 %), фосфора (7,4 %), натрия (10,3 %), цинка (12,4 %) и железа (11,45 %) снизилось в пределах 7,4–12,4 %. Наиболее выраженные изменения наблюдались в содержании кальция (19,84 %), калия (17,4 %), пантотеновой кислоты (17,8 %) и фолиевой кислоты (16,7 %).

Витамины группы В, несмотря на их термолабильность и фоточувствительность, сохранились на удовлетворительном уровне. Наибольшие

потери наблюдались у тиамина (16,5 %) и пантотеновой кислоты (17,8 %), однако они не превысили 18 %, что допустимо для продуктов в герметичной упаковке с ограниченным доступом кислорода. Следовательно, соблюдение условий хранения, близких к оптимальным (низкая влажность, вакуумная или модифицированная газовая среда, защита от света), позволяет мясным снекам сохранять основную часть витаминно-минеральной ценности в течение трёх месяцев.

Таким образом, в рамках настоящей работы под целевыми показателями пищевой ценности мясных снеков из баранины понимали повышенное содержание макроэлементов (Ca, Mg, P, K) по сравнению с контрольными образцами без прижизненного обогащения при сохранении высокого уровня белка, сбалансированного аминокислотного и витаминного профиля и соответствия нормативным требованиям по влажности, активности воды, pH и микробиологическим показателям. Фактические данные таблиц 4.6–4.10 показывают, что разработанные снеки из опытного сырья действительно содержат больше кальция, магния, фосфора и калия и обеспечивают больший вклад в покрытие суточной потребности взрослого человека по этим нутриентам, при этом содержание белка, профиль незаменимых аминокислот и уровень витаминов группы В остаются на сопоставимом уровне. Это позволяет заключить, что заданные целевые ориентиры по пищевой ценности разработанных снеков в целом достигнуты. Прижизненное формирование минерального состава мышечной ткани обеспечивает аккумуляцию эссенциальных макроэлементов в исходном сырье и их сохранение на последующих этапах технологической обработки, тогда как выбранные технологические параметры обработки (низкотемпературная сушка, смешанный посол) эффективны для минимизации миграции минеральных веществ и термодегradации витаминов. Совокупность этих факторов задаёт целевые ограничения для последующей настройки процесса сушки: достижение заданных конечных значений остаточной влажности и активности воды (a_w) при сохранении сенсорного профиля и пищевой ценности. На следующем этапе построена

регрессионная модель конвективной сушки и проведена многофакторная оптимизация температурно-временных режимов методом поверхностей отклика.

4.5 Математическая модель и обоснование процесса сушки мясных снеков из баранины

Экспериментальные исследования процесса сушки мясных снеков из баранины выполнены по методологии поверхностей отклика (Response Surface Methodology, RSM) с использованием трёхуровневого плана Box–Behnken, предназначенного для построения полиномиальных моделей второго порядка, анализа нелинейностей и взаимодействий факторов и поиска оптимальных значений технологических параметров [140].

Важно отметить, что продолжительность сушки во всех экспериментальных сериях была фиксирована на уровне 7 часов, что позволило исключить её влияние как скрытой переменной и сосредоточиться на анализе ключевых факторов.

В качестве независимых факторов выбраны температура сушки (X_1 , °C), толщина ломтиков сырья (X_2 , мм) и длина ломтиков (X_3 , см), уровни варьирования которых представлены в таблице 4.11. Выбор этих факторов обусловлен их прямым влиянием на кинетику удаления влаги, диффузию и конечное качество продукта.

Таблица 4.11 - Уровни варьирования факторов

Фактор	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)
X_1 – Температура, °C	50	55	60
X_2 – Толщина ломтиков, мм	1	3	5
X_3 – Длина ломтиков, см	4	6	8

Для оценки влияния факторов на отклик, обозначенный в Statistica как параметр оптимизации Y (остаточная влажность продукта, %), выполнен дисперсионный анализ (ANOVA) методом наименьших квадратов в программном обеспечении Statistica 10. Результаты ANOVA представлены на рисунке 4.14.

ANOVA позволяет разделить общую вариацию отклика на составляющие, обусловленные эффектами факторов и их взаимодействий, и остаточную вариацию, связанную со случайной ошибкой, что даёт возможность оценить статистическую значимость каждого члена модели.

Dependent Variable	Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet3)										
	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
Параметр оптимизации Y4	0,997791	0,995588	0,987646	61,86317	9	6,873685	0,274167	5	0,054833	125,3560	0,000024

а)

Univariate Tests of Significance for Параметр оптимизации Y4 (ANOVA)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition; Std. Error of Estimate: ,2341651						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	0,058918	1	0,058918	1,07449	0,347441	
X1	0,560983	1	0,560983	10,23069	0,024034	
X1^2	0,775641	1	0,775641	14,14543	0,013143	
X2	0,377366	1	0,377366	6,88206	0,046907	
X2^2	0,804103	1	0,804103	14,66448	0,012255	
X3	0,494935	1	0,494935	9,02617	0,029949	
X3^2	0,201026	1	0,201026	3,66612	0,113697	
X1*X2	0,562500	1	0,562500	10,25836	0,023918	
X1*X3	0,202500	1	0,202500	3,69301	0,112680	
X2*X3	0,090000	1	0,090000	1,64134	0,256342	
Error	0,274167	5	0,054833			

б)

Рисунок 4.14 – Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) для отклика Y: а) проверка статистической значимости модели в целом и оценка качества аппроксимации; б) проверка статистической значимости отдельных членов модели (линейных, квадратичных и попарных взаимодействий)

Проверка модели в целом показала её статистическую значимость и высокое соответствие экспериментальным данным. Коэффициент множественной корреляции составил Multiple R = 0,997791, коэффициент детерминации $R^2 = 0,995588$, скорректированный коэффициент детерминации $R^2_{adj} = 0,987646$. По критерию Фишера получено $F = 125,3560$ при $p = 0,000024$, что подтверждает статистическую значимость квадратичной модели второго порядка. Остаточная

сумма квадратов составила $SS_{\text{res}} = 0,274167$ при $df = 5$, среднеквадратическая ошибка $MS_{\text{res}} = 0,054833$, стандартная ошибка оценки равна $0,2341651$.

По результатам анализа значимости отдельных членов модели при уровне значимости $p < 0,05$ статистически значимыми являются линейные эффекты X_1 , X_2 , X_3 , квадратичные члены X_1^2 и X_2^2 , а также взаимодействие X_1X_2 .

Анализ Парето (см. рисунок 4.15) показал, что наибольший вклад в вариацию отклика Y вносят температура X_1 и толщина X_2 , при этом статистически значимы линейные эффекты X_1 , X_2 , X_3 , квадратичные члены X_1^2 и X_2^2 , а также взаимодействие X_1X_2 при $p < 0,05$.

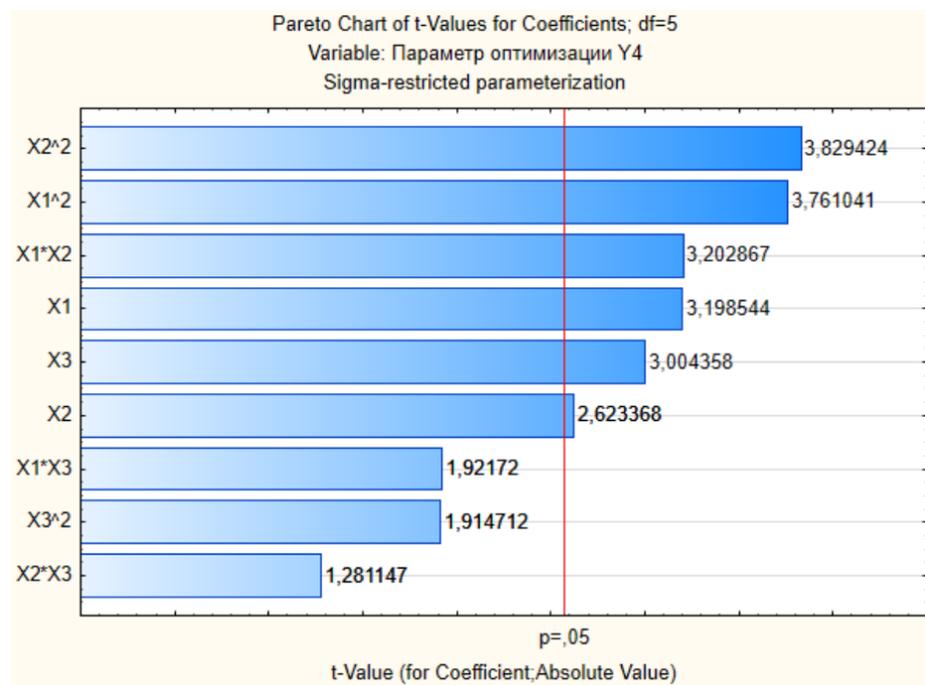


Рисунок 4.15 – Диаграмма Парето влияния факторов на отклик

Диаграмма Парето отражает абсолютные значения стандартизированных эффектов, рассчитанных на основе t -статистики для коэффициентов регрессионной модели, и содержит линию статистической значимости на уровне $p = 0,05$. По рисунку видно, что наибольшее влияние на остаточную влажность оказывают толщина ломтиков (X_2) и температура сушки (X_1), причём существенна выраженная нелинейность их влияния, что соответствует эффектам X_2^2 и X_1^2 . Также статистически значимо совместное влияние температуры и толщины. Длина ломтиков (X_3) также оказывает статистически значимое влияние.

Для построения квадратичной модели поверхности отклика реализован план Вох-Behnken – эффективный трёхфакторный план второго порядка, обеспечивающий оценку линейных, квадратичных эффектов и взаимодействий при минимальном числе опытов. Матрица планирования, представленная в таблице 4.12, включает 15 экспериментов: 12 факторных точек и 3 центральные точки (опыты 3, 7 и 8), необходимые для оценки ошибки воспроизводимости. Матрица содержит как кодированные уровни факторов (-1, 0, +1), так и соответствующие экспериментальные значения остаточной влажности Y , полученные в результате проведения опытов в лабораторных условиях. Это позволяет перейти к статистической обработке данных для расчёта коэффициентов регрессии и построения модели.

Таблица 4.12 – Матрица планирования эксперимента

Наименование	Температура X_1 , °С	Толщина ломтиков сырья X_2 , мм	Длина ломтиков X_3 , см	Конечная влажность Y , %
Верхний уровень (+1)	60	5	8	
Основной уровень (0)	55	3	6	
Нижний уровень (-1)	50	1	4	
Опыт				
1	0	-1	1	27,9
2	0	1	1	28,4
3	0	0	0	27,7
4	-1	0	-1	29
5	1	0	1	24,1
6	-1	-1	0	29,1
7	0	0	0	27,3
8	0	0	0	27,4
9	1	0	-1	23,9
10	0	1	-1	27,8
11	1	1	0	25,1
12	0	-1	-1	26,7
13	-1	0	1	30,1
14	-1	1	0	30,9
15	1	-1	0	24,8

Далее, на основе этой матрицы, в программном обеспечении Statistica 10 была сформирована таблица экспериментальных данных (см. рисунок 4.16), содержащая натуральные значения факторов (температура, толщина, длина) и соответствующие значения отклика Y .

После реализации матрицы планирования второго порядка было установлено, что распределение точек позволяет достоверно оценить квадратичные эффекты и взаимодействия.

	1 X1	2 X2	3 X3	4 Параметр оптимизации Y4
1	55	1	8	27,9
2	55	5	8	28,4
3	55	3	6	27,7
4	50	3	4	29
5	60	3	8	24,1
6	50	1	6	29,1
7	55	3	6	27,3
8	55	3	6	27,4
9	60	3	4	23,9
10	55	5	4	27,8
11	60	5	6	25,1
12	55	1	4	26,7
13	50	3	8	30,1
14	50	5	6	30,9
15	60	1	6	24,8

Рисунок 4.16 – Таблица экспериментальных данных для плана Box–Behnken (натуральные значения факторов и отклик Y)

Для расчёта коэффициентов регрессионной модели и оценки их статистической значимости использованы результаты оценивания параметров модели (см. рисунок 4.17). Эти данные представляют собой ключевой результат статистической обработки и позволяют определить вклад каждого фактора в модель. В них приведены значения эффектов линейных и квадратичных компонентов, их стандартные ошибки t -статистики, p -значения (p), доверительные интервалы и рассчитанные коэффициенты регрессии с соответствующими погрешностями. На основании этих данных выделяются статистически значимые эффекты ($P < 0,05$).

Effect	Parameter Estimates (Spreadsheet3) Sigma-restricted parameterization									
	Параметр оптимизации Y4 Param.	Параметр оптимизации Y4 Std.Err	Параметр оптимизации Y4 t	Параметр оптимизации Y4 p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Параметр оптимизации Y4 Beta (?)	Параметр оптимизации Y4 St.Err.?	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt
Intercept	-16,0354	15,46962	-1,03657	0,347441	-55,8013	23,73050				
X1	1,7342	0,54217	3,19854	0,024034	0,3405	3,12787	3,11121	0,972696	0,61082	5,61161
X1^2	-0,0183	0,00487	-3,76104	0,013143	-0,0309	-0,00580	-3,61978	0,962441	-6,09381	-1,14575
X2	1,8188	0,69329	2,62337	0,046907	0,0366	3,60090	1,30518	0,497522	0,02626	2,58411
X2^2	0,1167	0,03047	3,82942	0,012255	0,0384	0,19498	0,51520	0,134537	0,16936	0,86104
X3	2,2438	0,74683	3,00436	0,029949	0,3240	4,16354	1,61018	0,535947	0,23248	2,98787
X3^2	-0,0583	0,03047	-1,91471	0,113697	-0,1366	0,01998	-0,50558	0,264052	-1,18435	0,17318
X1*X2	-0,0375	0,01171	-3,20287	0,023918	-0,0676	-0,00740	-1,49683	0,467341	-2,69817	-0,29549
X1*X3	-0,0225	0,01171	-1,92172	0,112680	-0,0526	0,00760	-0,92227	0,479917	-2,15593	0,31140
X2*X3	-0,0375	0,02927	-1,28115	0,256342	-0,1127	0,03774	-0,18449	0,144006	-0,55467	0,18569

Рисунок 4.17 – Оценки коэффициентов регрессионной модели второго порядка для отклика Y и их статистическая значимость.

Основываясь на оценках коэффициентов регрессионной модели и их статистической значимости, полученных в Statistica 10, была составлена квадратичная модель поверхности отклика второго порядка. В соответствии с распространённой практикой представления результатов RSM, уравнение приводят в двух формах: в кодированных переменных и в натуральных переменных, то есть в реальных единицах факторов.

Уравнение регрессии в натуральных переменных имеет вид:

$$y = -16,0354 + 1,7342X_1 - 0,0183X_1^2 + 1,8188X_2 + 0,1167X_2^2 + 2,2438X_3 - 0,0583X_3^2 - 0,0375X_1X_2 - 0,0225X_1X_3 - 0,0375X_2X_3$$

где X_1 – температура сушки, °C; X_2 – толщина ломтиков, мм; X_3 – длина ломтиков, см.

Переход от натуральных значений факторов к кодированным уровням выполняли по формулам:

$$x_1 = (X_1 - 55)/5, x_2 = (X_2 - 3)/2, x_3 = (X_3 - 6)/2 \quad (4.1)$$

Уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$y = 27,5713 - 2,6315x_1 + 0,4630x_2 + 0,3884x_3 - 0,4575x_1^2 + 0,4668x_2^2 - 0,2332x_3^2 - 0,3750x_1x_2 - 0,2250x_1x_3 - 0,1500x_2x_3$$

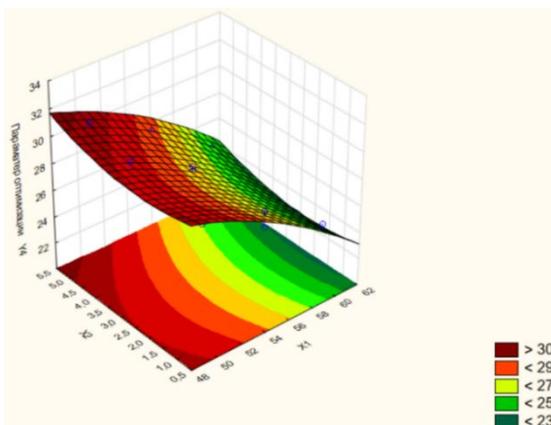
где y – остаточная влажность продукта, %; x_1, x_2, x_3 – кодированные уровни факторов температуры, толщины и длины соответственно.

Полученная регрессионная модель использована для построения поверхностей отклика и последующей оптимизации режима сушки по критерию минимизации остаточной влажности.

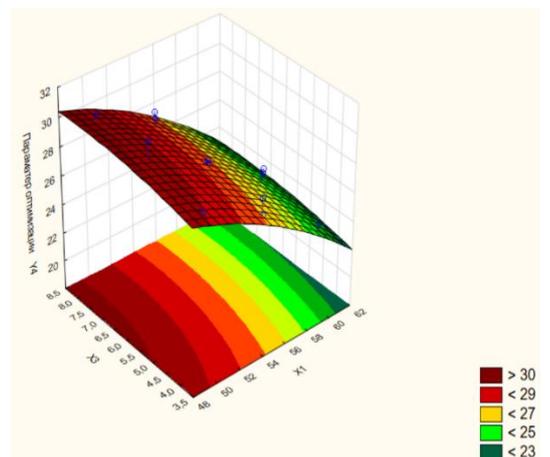
В качестве критерия оптимизации выбрана минимизация остаточной влажности как ключевого показателя качества снеков. Оптимизация модели поверхности отклика, выполненная в программном обеспечении Statistica 10 при фиксированном времени сушки 7 ч, выявила оптимальный режим: температура $X_1 = 60$ °С, толщина ломтиков $X_2 = 1$ мм, длина ломтиков $X_3 = 4$ см. При этих значениях предсказанная конечная влажность составляет 23,5–24,5 %.

Качество аппроксимации экспериментальных данных подтверждается коэффициентом детерминации $R^2 = 0,995588$. Построенная модель корректно описывает процесс сушки баранины в выбранном диапазоне факторов и пригодна для оптимизации режима.

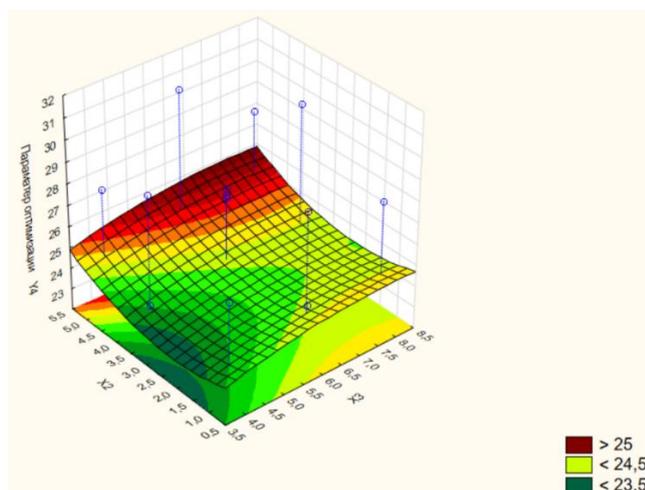
На основе модели регрессии было сформировано графическое представление поверхностей отклика (см. рисунок 4.18), предназначенное для визуальной интерпретации зависимостей и подтверждения области оптимума, что позволяет наглядно оценить влияние факторов на процесс сушки.



а)



б)



в)

Рисунок 4.18 – Трёхмерная поверхность отклика, иллюстрирующая зависимость остаточной влажности продукта от факторов

- а) в зависимости от факторов X1 (температура) и X2 (толщина ломтиков); б) в зависимости от факторов X1 (температура) и X3 (длина ломтиков); в) в зависимости от факторов X3 (длина ломтиков) и X2 (толщина ломтиков)

На рисунке (а) представлена поверхность отклика, характеризующая совместное влияние температуры X1 и толщины ломтиков X2 при фиксированном уровне длины X3. Повышение температуры с 50 до 60 °С приводит к снижению остаточной влажности продукта: наименьшие значения отклика достигаются при сочетании высокой температуры и минимальной толщины ломтиков, тогда как при низкой температуре и больших размерах ломтиков остаточная влажность максимальна. Уменьшение толщины ломтиков с 5 до 1 мм также снижает влажность, при этом выраженная нелинейность по температуре и толщине согласуется с наличием значимых членов $X1^2$ и $X2^2$ и статистически значимого взаимодействия $X1 \cdot X2$.

На рисунке (б) показана поверхность отклика в координатах температуры X1 и длины ломтиков X3 при фиксированном уровне толщины X2. Наблюдается уменьшение остаточной влажности с ростом температуры, тогда как изменение длины ломтиков в диапазоне 4–8 см оказывает более умеренное влияние. Это согласуется с результатами анализа значимости, согласно которым нелинейный эффект длины $X3^2$ и взаимодействия с участием X3 при уровне $p = 0,05$ выражены

слабее. На рисунке (в) приведена поверхность отклика, иллюстрирующая совместное влияние толщины X_2 и длины X_3 при фиксированном уровне температуры X_1 . Поверхность демонстрирует область минимальных значений отклика при малой толщине ломтиков, влияние длины при этом проявляется слабее. Такая форма поверхности соответствует существенной роли толщины и наличию нелинейности по X_2 в регрессионной модели.

Таким образом, разработанная математическая модель сушки снеков из баранины на основе методологии поверхностей отклика и плана Бох-Бехнкен обеспечивает точное описание нелинейных зависимостей между основными технологическими факторами – температурой, толщиной и длиной ломтиков – и остаточной влажностью продукта. Коэффициент детерминации модели составил $R^2 = 0,995588$, что свидетельствует о высокой степени соответствия модели экспериментальным данным, а значимость влияния факторов подтверждается данными дисперсионного анализа (ANOVA). Полученное уравнение регрессии второго порядка позволяет с высокой точностью прогнозировать отклик системы и оптимизировать процесс, определяя оптимальные параметры: температуру сушки $60\text{ }^\circ\text{C}$, толщину ломтиков 1 мм и длину 4 см . В этих условиях достигается минимальная остаточная влажность продукта на уровне $23,5\text{-}24,5\%$. Визуализация поверхностей отклика наглядно подтверждает эти выводы, демонстрируя доминирующее влияние температуры и существенное уменьшение влажности при минимальных размерах ломтиков, что потенциально способствует повышению энергоэффективности и улучшению качества готовых изделий.

4.6 Кинетика процесса конвективной сушки мясных снеков из баранины

Переходя от статистической оптимизации к физической интерпретации, проанализирована кинетика конвективной сушки мясных снеков из обогащенной баранины. Экспериментальное исследование кинетики конвективной сушки мясных снеков из баранины выполнено в сушилке дегидраторе *Kitfort KT-1910* со скоростью воздушного потока $0,5\text{ м/с}$. Применение конвективного дегидратора

Kitfort КТ-1910 с принудительной горизонтальной подачей воздуха и электронно регулируемой температурой обеспечивает стабильность и воспроизводимость режимов, а также равномерный обдув поддонов по всему объёму рабочей камеры. Использование сетчатых поддонов и двустороннего обдува снижает сопротивление массообмену, ускоряет удаление влаги и способствует формированию более однородного профиля влажности по толщине ломтика.

Ломтики размещали на сетчатых поддонах, что обеспечивало двустороннюю сушку. Образцы готовили по рецептуре: баранина высшего сорта с добавлением соли и нитритной соли (0,6 %), соевого соуса, сахара, стартовых культур «ПрестоСтарт FB-СА3», перца и аскорбиновой кислоты. Посол проводили при 12–18 °С (14 ч) с последующей выдержкой при 0–4 °С (10 ч). В ходе исследований сушку мясных снеков из баранины проводили при следующих значениях режимных параметров:

- начальная массовая доля влаги $W = 70,7–70,9$ %;
- начальная активность воды после посола $a_w = 0,964 – 0,965$;
- конечная массовая доля влаги $W = 23,9 – 29,0$ %; (в зависимости от температуры, табл. 4.13);
- активность воды к 7-му часу $a_w = 0,756 – 0,797$;
- температура сушильного агента $T = 50, 55, 60$ °С;
- толщина ломтиков 1 мм – принята фиксированной. При такой толщине образцы ведут себя как плоская пластина, что минимизирует влияние внешней массоотдачи и повышает устойчивость оценки параметров модели.

Для сопоставления режимов и анализа кинетики процесса исходные данные по массовой доле влаги W дополнительно приводили к влагосодержанию на сухую основу X (отношение массы воды к массе сухого вещества) и нормированной (безразмерной) влажности MR , которая показывает долю влаги, остающейся в продукте относительно начального и равновесного состояния. Такой подход позволял сравнивать кинетику сушки при различных значениях начальной и равновесной влаги. Сводные числовые данные динамики массовой доли влаги W при конвективной сушке представлены в таблице 4.13. Таблица содержит для

каждого температурного режима (50, 55 и 60 °С) значения влаги (W) и активности воды (a_w). Начальные значения ($t = 0$) использованы далее при нормировании и сопоставлении режимов, а последующее снижение W отражает ускорение обезвоживания с ростом температуры.

Таблица 4.13 – Показатели W и a_w (опытная серия; $t = 0, 1, 3, 5, 7$ ч)

t, ч	50 °С		55 °С		60 °С	
	W	a_w	W	a_w	W	a_w
0	70,7	0,964	70,7	0,964	70,7	0,964
1	57,5	0,934	54,5	0,924	49,2	0,894
3	46,1	0,895	41,4	0,874	37,5	0,832
5	37,5	0,833	33,5	0,818	28,4	0,798
7	29,0	0,797	26,7	0,791	23,9	0,756

Как видно из таблицы 4.13, повышение температуры сушильного агента с 50 до 60 °С приводит к ускорению обезвоживания: к седьмому часу фиксируется диапазон $a_w = 0,756 - 0,797$ при конечной $W = 23,9 - 29,0$ %, что подтверждает микробиологическую стабильность продукта в рамках принятого 7-часового цикла.

Для описания экспериментальных зависимостей $MR(t)$ рассмотрены типовые тонкослойные модели с минимальным числом параметров: Newton (Льюис), Henderson–Pabis, Logarithmic и Page. Выбор набора тонкослойных моделей соответствует принятой практике моделирования при сушке мясного сырья [141].

Параметры моделей идентифицировали методом нелинейных наименьших квадратов с минимизацией суммы квадратов отклонений. Качество аппроксимации оценивали по R^2 и RMSE. Формулы сведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Базовые тонкослойные модели

Модель	Уравнение (MR)
Newton (Льюис)	$MR = \exp(-kt)$
Henderson–Pabis (Хендерсон–Папис)	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic (логарифмическая)	$MR = a \exp(-kt) + c$
Page (Пейджа)	$MR = \exp(-kt^n)$

Параметры моделей определяли методом наименьших квадратов. Качество аппроксимации оценивали по R^2 , RMSE и X^2 , рассчитанным по всем точкам $t = 0, 1, 3, 5, 7$ ч. Результаты сопоставления представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Критерии подгонки для тонкослойных моделей на данных $MR(t)$

Модель	Температура, °C	R^2	X^2	RMSE
Newton (Ньютон Льюис)	50	0,9656	0,005513	0,0664
	55	0,9587	0,006806	0,0738
	60	0,9395	0,010204	0,0904
Page (Пейджа)	50	0,9946	0,001163	0,0264
	55	0,9977	0,000504	0,0174
	60	0,9977	0,000510	0,0175
Henderson–Pabis (Хендерсон–Пабис)	50	0,9610	0,008330	0,0707
	55	0,9440	0,012288	0,0859
	60	0,9134	0,019487	0,1081
Logarithmic (Логарифмическая)	50	0,9825	0,005588	0,0473
	55	0,9872	0,004205	0,0410
	60	0,9811	0,006382	0,0505

По данным таблицы 4.15 на всех температурах наилучшее соответствие обеспечивает модель Page (минимальные RMSE и X^2 , максимальный R^2). Это ожидаемо: двухпараметрическая форма Page гибче простой экспоненты и корректно описывает участок падающей скорости с «длинным хвостом» $MR(t)$, тогда как модели Newton и Henderson–Pabis систематически занижают хвост, а логарифмическая форма уступает Page по точности.

Нормированные экспериментальные кривые $MR(t)$ при 50, 55 и 60 °C с наложением аппроксимаций моделью Page представлены на рисунке 4.19. На графике маркерами показаны измеренные точки, пунктирными линиями – расчёт по зависимости Page.

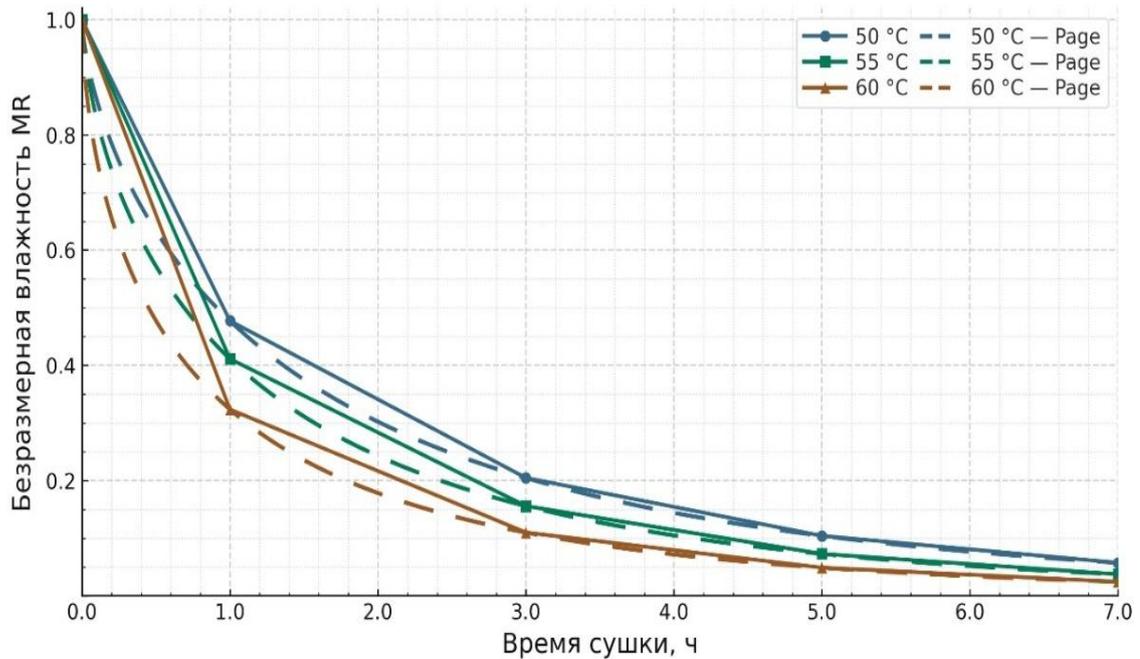


Рисунок 4.19 - Нормированные кривые сушки $MR(t)$ для 50, 55 и 60 °C с аппроксимацией по Page.

При повышении температуры уменьшение $MR(t)$ происходит быстрее, поэтому кривая для 60 °C располагается ниже кривых для 55 и 50 °C на всём интервале времени от 0 до 7 ч. В первый час наблюдается интенсивное снижение MR , что связано с прогревом образцов и формированием начальных градиентов влаги. Далее следует стадия падающей скорости, на которой $MR(t)$ убывает медленно и монотонно, приближаясь к равновесной влажности. Расчётные кривые по модели Page воспроизводят форму и уровень экспериментальных данных, включая замедление на поздней стадии, что согласуется с критериями подгонки.

Параметры k и n находили прямым численным подбором по методу наименьших квадратов для исходной формулы:

$$MR(t) = \exp(-k t^n) \quad (4.2)$$

где MR - нормированная (безразмерная влажность);

t – время сушки в часах;

k – скоростной параметр с размерностью $ч^{-n}$;

n – безразмерный показатель кривизны.

Результаты оценивания (значения k и n) представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Параметры модели Page

T, °C	k, ч ⁻ⁿ	n
50	0,7395	0,6945
55	0,8886	0,6715
60	1,1282	0,6112

Примечание: k – скоростной параметр модели (размерность ч⁻ⁿ), характеризует скорость снижения MR; n – безразмерный показатель кривизны.

Значение n монотонно уменьшается с ростом температуры (от 0,69 до 0,61), что отражает выраженный «хвост» на стадии падающей скорости и подтверждает адекватность двухпараметрической формы Page для описания поздних стадий обезвоживания.

Выбор модели обусловлен её широким применением для описания тонкослойной сушки пищевого сырья, включая мясные снеки, и её способностью адекватно описывать участок падающей скорости сушки. Наложённые кривые Page адекватно повторяют форму экспериментальных зависимостей на всём интервале времени, в том числе на «длинном хвосте», где простая экспонента обычно завывает скорость обезвоживания. Чтобы проверить температурно-временную эквивалентность и не ограничиваться только метриками из таблицы 4.15, время перевели в приведённую безразмерную переменную:

$$\theta = k(T) t^{n(T)} \quad (4.3)$$

где k и n – оценки параметров модели Page из таблицы 4.16. В этих координатах теоретическая зависимость имеет вид:

$$M_R = \exp(-\theta) \quad (4.4)$$

Если экспериментальные точки при 50, 55 и 60 °C лежат на одной и той же кривой это означает, что влияние температуры сводится к масштабированию времени параметрами k и n, а форма кривой неизменна. На рис. 4.20 показано сведение кривых MR(t) при 50–60 °C к единой экспоненциальной зависимости MR(θ) без систематического смещения, что подтверждает применимость двухпараметрической модели Page и температурно-временную эквивалентность исследованных режимов.

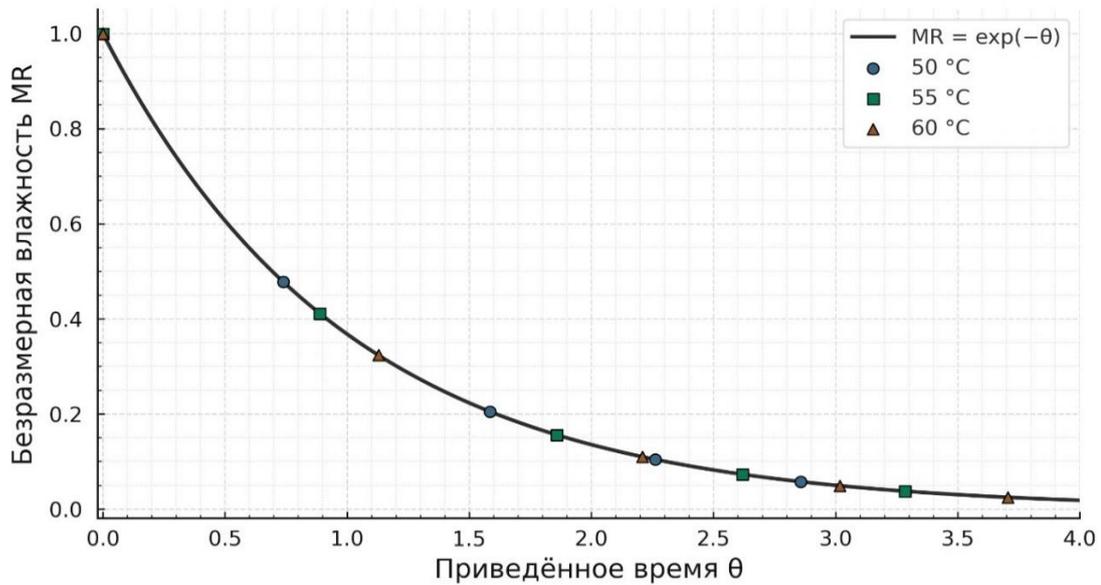


Рисунок 4.20 – Сведение кривых сушки. По оси X отложено приведенное время θ (безразмерная величина); при $t=7$ ч максимальные значения θ составляют: 2,86 (50 °C); 3,28 (55 °C) и 3,71 (60 °C)

Как видно, точки всех температур хорошо совмещаются с одной экспонентой и не показывают систематического смещения. Это подтверждает применимость двухпараметрической формы Page к данному продукту и демонстрирует температурно-временную эквивалентность режимов. Параметры k и n подбирали по точкам $t=1,3,5,7$ ч. Далее качество аппроксимации оценили на полном наборе $t = 0, 1, 3, 5, 7$ ч - оно сохранилось высоким. Это подтверждает применимость двухпараметрической формы Page и температурно-временную эквивалентность режимов.

Далее, чтобы проверить преобладающий механизм переноса на поздних стадиях, выполнена диффузионная линеаризация для тонкого ломтика (1 мм, двусторонняя сушка).

$$\ln MR \approx \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 \cdot D_{eff}}{\delta^2} \cdot t \quad (4.5)$$

где t – время, с; δ – полная толщина образца 1,0 мм (плоская симметричная пластина двусторонний массообмен); D_{eff} – эффективный коэффициент влагодиффузии, m^2/s ; \ln – натуральный логарифм; MR – нормированная влажность.

Наклон (*slope*) вычислялся по времени в часах, поэтому при расчёте используем перевод в секунды:

$$D_{eff} = - \frac{\delta^2 \cdot slope}{\pi^2 \cdot 3600} \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.6)$$

где *slope* – наклон регрессии $\ln MR$ по времени t (в часах; /3600 для $\text{м}^2/\text{с}$);

$\delta=1$ мм;

Постановка для (60 °С):

$$slope = -0,5175 \text{ ч}^{-1};$$

$$\frac{\delta^2}{\pi^2} \approx 1,013 \times 10^{-7} \text{ м}^2;$$

$$D_{eff} = \frac{(-1,013 \times 10^{-7} \cdot (-0,5175))}{3600} = 1,46 \times 10^{-11} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Чтобы показать полноту вычислений, тем же порядком действий пересчитаны и остальные режимы:

- $D_{eff} (50^\circ\text{C}) = 1,12 \times 10^{-11}$;
- $D_{eff} (55^\circ\text{C}) = 1,26 \times 10^{-11}$;
- $D_{eff} (60^\circ\text{C}) = 1,46 \times 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$.

Амплитуда и температурный тренд D_{eff} согласуются с данными литературы [142] по тонким мясным срезам, где типичные величины лежат в интервале 10^{-11} – $10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ в зависимости от температуры/толщины/структуры.

Итоговые наклоны, коэффициенты детерминации и значения D_{eff} объединены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Наклон $\ln MR-t$ и D_{eff} (окно 1–3–5 ч; $\delta = 1$ мм)

T, °C	slope, ч ⁻¹	R ²	D _{eff} , м ² /с
50	-0,3989	0,9987	$1,12 \times 10^{-11}$
55	-0,4469	0,9990	$1,26 \times 10^{-11}$
60	-0,5175	0,9867	$1,46 \times 10^{-11}$

Линеаризацию зависимости $\ln MR-t$ выполняли по промежуточным точкам $t=1;3;5$ ч. Этот диапазон соответствует области одночленной экспоненциальной аппроксимации тонкослойного процесса, где асимптотическая форма зависимости

даёт линейную связь $\ln MR-t$ и позволяет корректно оценивать D_{eff} . Точка 7 ч относится к зоне плато и использовалась в работе для операционной оценки равновесной влажности контроля достижения целевого уровня $a_w \leq 0,85$.

На рисунке 4.21 показаны экспериментальные точки и соответствующие им прямые наименьших квадратов, где в легенде для каждого режима приведены наклон (*slope*) и коэффициент детерминации R^2 .

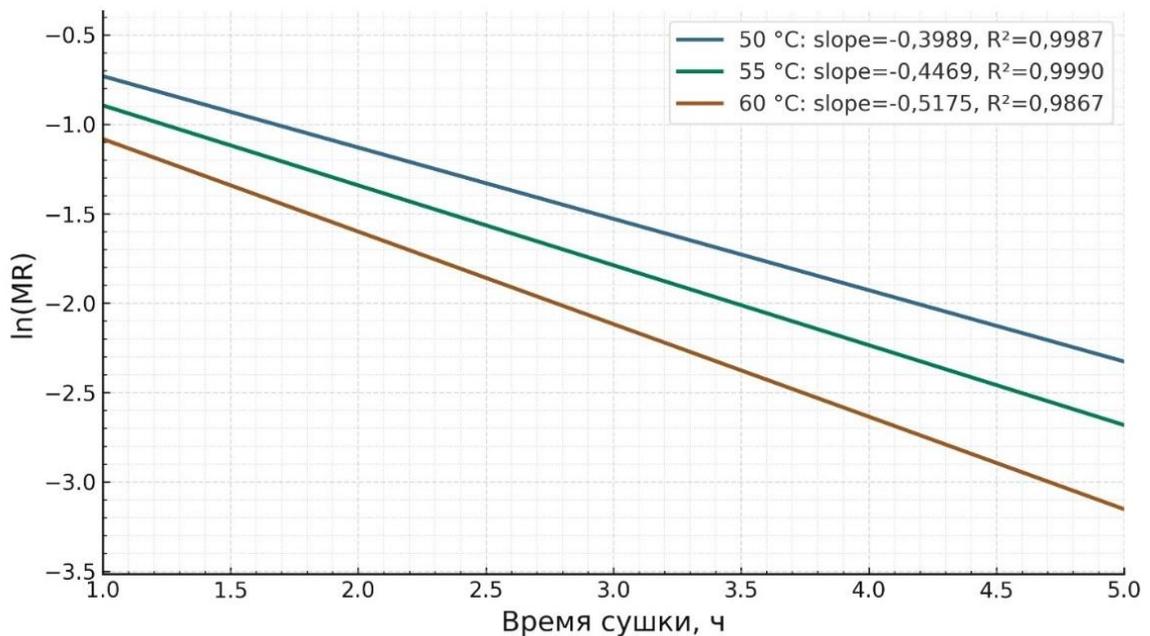


Рисунок 4.21 - Линеаризация $\ln(MR)-t$ (окно 1–3–5 ч; $\delta = 1$ мм)

После анализа нормированных кривых и оценки D_{eff} далее мы непосредственно переходим к скоростной характеристике процесса. Для практической интерпретации кинетики по экспериментальным рядам $W(t)$ рассчитана средняя интервальная скорость снижения влажности:

$$\bar{r}_W = - \frac{\Delta W}{\Delta t} \%/\text{ч} \quad (4.7)$$

где: $\Delta W = W(t_2) - W(t_1)$ – изменение массовой доли влаги на влажной основе, %;

$\Delta t = t_2 - t_1$ – длительность интервала, ч;

$W(t)$ – массовая доля влаги на влажной основе, %;

t – время с начала сушки, ч.

Расчёты заключительных интервалов 5–7 ч:

$$50\text{ °C, } 5\text{--}7\text{ ч: } \bar{r}_W = - \frac{(W(7) - W(5))}{(7 - 5)} = - \frac{(29,0 - 37,5)}{2} = 4,25\text{ \%/ч};$$

$$55\text{ °C, } 5\text{--}7\text{ ч: } \bar{r}_W = - \frac{(26,7 - 33,5)}{2} = 3,40\text{ \%/ч};$$

$$60\text{ °C, } 5\text{--}7\text{ ч: } \bar{r}_W = - \frac{(23,9 - 28,4)}{2} = 2,25\text{ \%/ч}.$$

Итоговые значения сведены в таблице 4.18 и представляют собой результат обработки экспериментальных рядов $W(t)$.

Таблица 4.18 – Средние интервальные скорости снижения влажности \bar{r}_w , %/ч

Интервал, ч	50 °C	55 °C	60 °C
0–1	13,20	16,20	21,50
1–3	5,70	6,55	5,85
3–5	4,30	3,95	4,55
5–7	4,25	3,40	2,25

На заключительном часовом интервале средняя интервальная скорость снижения влажности не превышает 4,3 %/ч. Порог выбран по результатам наших опытов и служит индикатором достижения целевой активности воды $a_w \leq 0,85$, необходимой для микробиологической безопасности сушёных мясных изделий [143]. Для наглядности на рисунке 4.22 показаны значения \bar{r}_w для интервалов 0–1, 1–3, 3–5 и 5–7 ч (толщина ломтиков 1 мм).

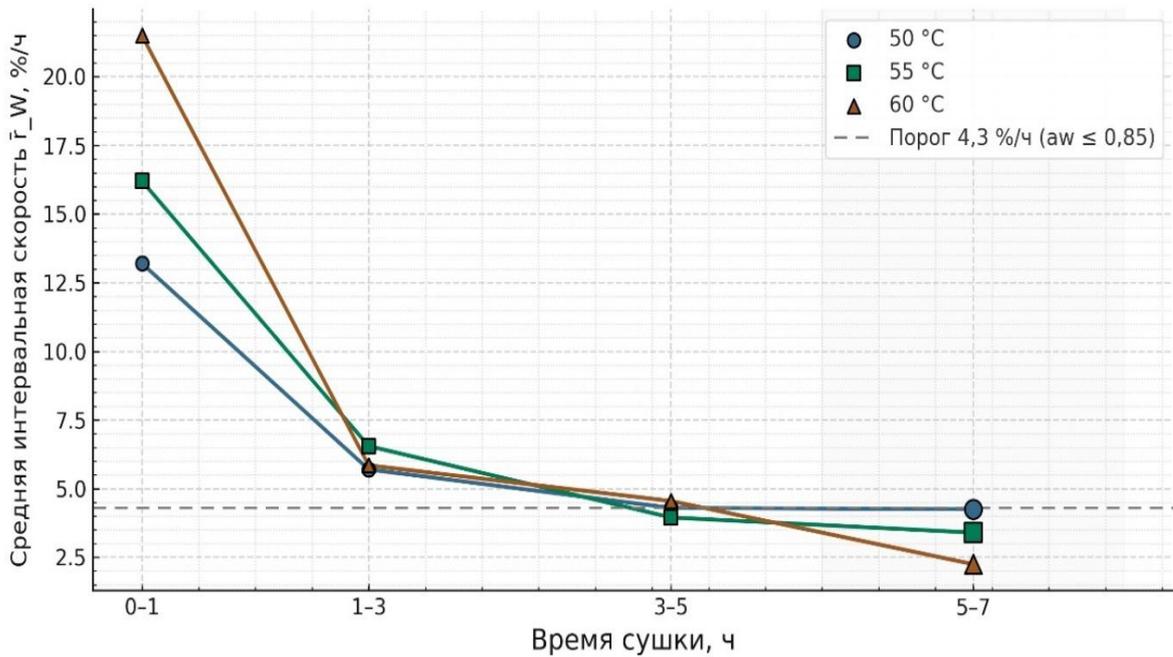


Рисунок 4.22 – Средняя интервальная скорость снижения влажности \bar{g}_w , %/ч

Видно, что стартовая скорость наибольшая при 60 °C, далее во всех режимах скорость монотонно убывает; на заключительном интервале 5–7 ч \bar{g}_w не превышает 4,3 %/ч во всех температурах, что соответствует достижению целевого уровня $a_w \leq 0,85$.

К 7-му часу получены $a_w = 0,797; 0,791; 0,756$ при 50; 55; 60 °C соответственно. Критерий рассчитан по тем же рядам $W(t)$, что и таблица 4.18 (берётся последняя строка 5–7 ч) и может использоваться для настройки и автоматизации окончания цикла в производстве. При переносе на иные рецептуры, толщины ломтиков и режимы обдува его величина подлежит предварительной калибровке на серии партий с контролем a_w .

Для количественной увязки эффективного коэффициента влаго-диффузии D_{eff} с температурой используется уравнение Аррениуса [144], которое в классическом виде описывает температурную зависимость констант скорости:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4.8)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель;

E_a – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная;

При логарифмировании получаем линейную форму:

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}, \quad (4.9)$$

где \ln – натуральный логарифм; T – абсолютная температура (К); $R = 8,314$ Дж·моль⁻¹·К⁻¹.

Поскольку выражение линейно в координатах $\ln D_{eff} - 1/T$, была выполнена прямая линейная регрессия по трём экспериментальным режимам $T = 323,15$; $328,15$; $333,15$ К (соответственно 50 ; 55 ; 60 °С):

$$\ln D_{eff} = -16,394 - 2852,25 \cdot \frac{1}{T}$$

из которого непосредственно следуют оценки параметров Аррениуса:

$$E_a = 23,7 \text{ кДж/моль}; D_0 = 7,59 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}; R^2 = 0,995.$$

Рассчитанная по Аррениусу энергия активации ($E_a = 23,7$ кДж/моль) согласуется с данными литературы [145] по сушке тонких слоев мяса, где для говядины значения E_a для модели Пейджа или связанных диффузионных параметров лежат в диапазоне 20 – 60 кДж/моль в зависимости от рецептуры, условий сушки и типа мяса. В литературе по баранине в контексте конвективной сушки снеков со стартовыми культурами систематических работ, где одновременно представлены параметры Page (k, n) и аррениусовская зависимость $D_{eff}(T)$, пока не представлено. Тем не менее опубликованные для мясных изделий значения E_a (преимущественно по говядине) укладываются в диапазон 20 – 60 кДж·моль⁻¹, что согласуется с нашими данными.

На рисунке 4.23 показан график Аррениуса для эффективной влагодиффузии. По оси X отложено $1/T$ (К⁻¹), по оси Y – $\ln D_{eff}$. Точки соответствуют температурам 50 , 55 и 60 °С, сплошная линия – линейная регрессия.

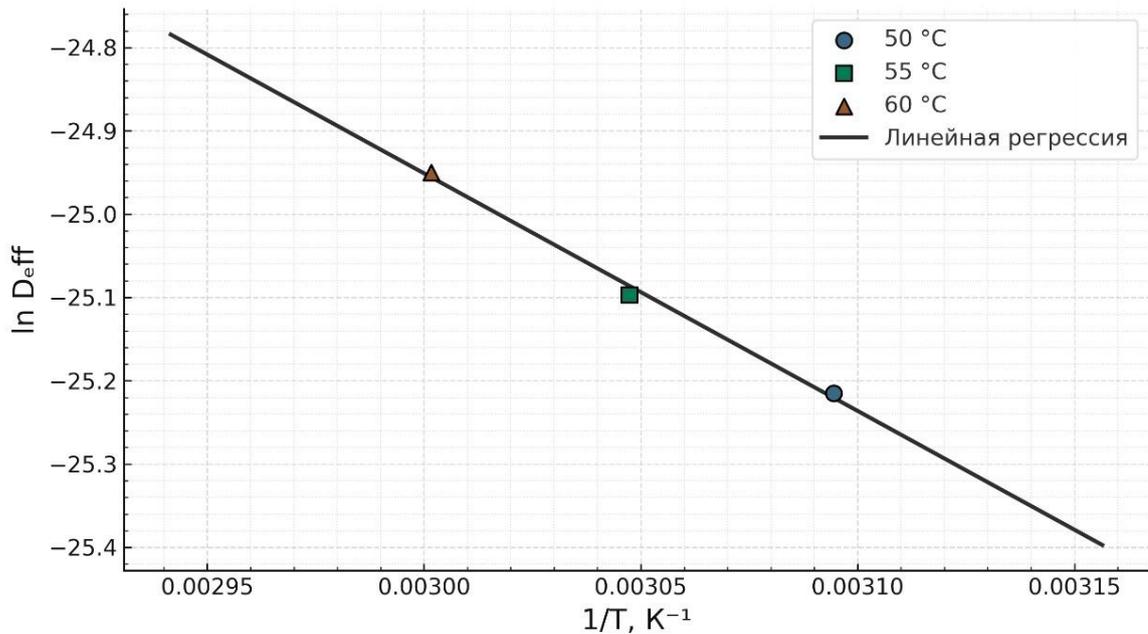


Рисунок 4.23 - График Аррениуса для эффективной влаго-диффузии

Как видно, экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую без систематического смещения, а отрицательный наклон подтверждает рост D_{eff} с повышением температуры.

Таким образом, двухпараметрическая модель Page надёжно описывает нормированные кривые сушки в исследованных условиях ($R^2 > 0,99$), а приведение времени к безразмерной переменной θ обеспечивает сведение экспериментальных кривых к единой экспоненциальной зависимости и согласуется с температурно-временным масштабированием режимов параметрами k и n . Диффузионная линеаризация поздней стадии даёт эффективный коэффициент влаго-диффузии D_{eff} порядка $(1,1-1,5) \times 10^{-11}$ м²/с. Температурная зависимость D_{eff} описывается уравнением Аррениуса с энергией активации около 23,7 кДж/моль и предэкспонентой порядка $7,6 \times 10^{-8}$ м²/с, что согласуется с литературными данными для тонких мясных срезов.

Для производства это означает, что длительность цикла можно планировать по параметрам Page и простому операционному критерию скорости: на интервале 5–7 ч выполнение $\bar{r}_w < 4,3$ %/ч надёжно соответствует достижению целевой активности воды $a_w \leq 0,85$ без непрерывного контроля. Методика применима для

ломтиков толщиной 1 мм со скоростью воздушного потока около 0,5 м/с и требует краткой калибровки порога \bar{r}_w при смене рецептуры или толщины. Такой подход упрощает определение момента окончания сушки и повышает воспроизводимость процесса на производстве при сохранении качества и безопасности продукта.

Зафиксированные условия окончания процесса обеспечивают сопоставимость последующих испытаний текстуры, органолептики и микробиологической безопасности.

4.7 Анализ структурно-механических свойств мясных снеков из баранины

Для оценки структурно-механических характеристик сушёных мясных снеков из баранины, полученных из сырья контрольной и опытной групп, применяли метод анализа профиля текстуры (Texture Profile Analysis, TPA), широко используемый для количественной оценки текстуры пищевых продуктов [146], с использованием текстурного анализатора Brookfield CT3, реализующего режим TPA [147].

Исследование включало два режима теста, дополняющих друг друга: компрессионный (для общей жесткости и деформации) и пенетрационный (для хрупкости и сопротивления проколу), что позволяет комплексно охарактеризовать текстуру продукта.

Первый режим – компрессия цилиндрическим зондом TA5 – фокусируется на сжатии и оценивает твердость, упругость и энергию деформации. Второй режим – пенетрация с целевой деформацией той же нагрузки и скорости, но с коническим зондом TA15/1000 – измеряет сопротивление проколу, хрупкость и энергию разрушения, что актуально для продуктов с коркой или хрупкой структурой.

Результаты первого анализа представлены в таблице 4.19, где сравниваются значения для опытного и контрольного образцов снеков.

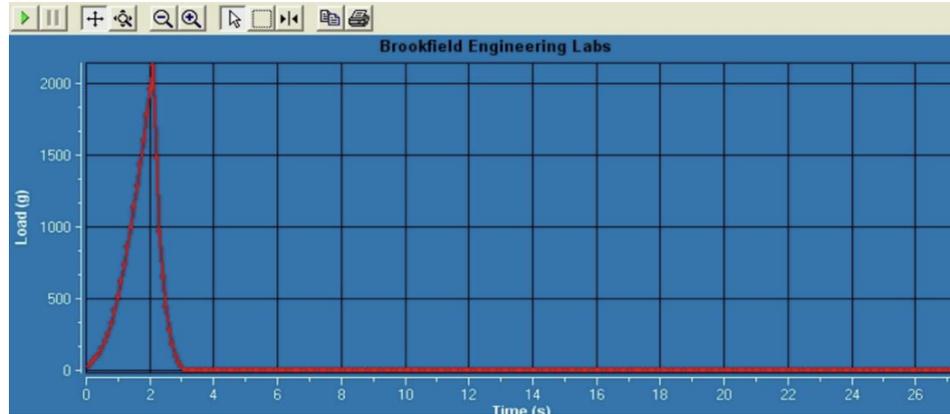
Таблица 4.19 – Параметры компрессионного теста (ТРА) мясных снеков из баранины

Наименование показателя	Значение	
	Контрольный образец	Опытный образец
Твердость, гс	2016,50	2123,50
Деформация при твердости, мм	1,96	2,00
Отн. деформация при твердости	0,30	0,30
Работа твердости (энергия деформации до максимальной нагрузки), мДж	11,07	14,14
Восстанавливаемая деформация после снятия нагрузки, мм	1,37	1,12
Восстанавливаемая работа после снятия нагрузки, мДж	2,44	4,19
Общая работа, мДж	13,51	18,33
Пиковое напряжение, Па	82474,00	90412,00
Упругость	0,30	0,30
Длина нитевидности, мм	17,21	15,85

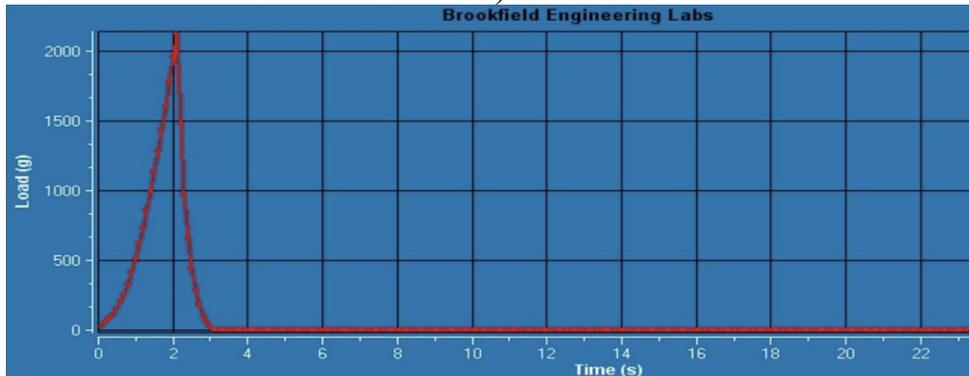
Примечание: гс – грам-сила; мм – миллиметр; мДж – миллиджоуль (показатель работы/энергии); Па – паскаль, единица напряжения

Анализ данных таблицы указывает на минимальные различия в структурно-механических свойствах между опытным и контрольным образцами, с отклонениями в ключевых параметрах (например, по твердости и пиковому напряжению). По данным таблицы выраженных различий в структурно-механических свойствах между опытным и контрольным образцами не выявлено. Небольшие отклонения наблюдаются в твердости (2123,50 гс в опытном образце против 2016,50 гс в контрольном) и пиковом напряжении (90412,00 Па в опытном образце против 82474,00 Па в контрольном), которые могут быть обусловлены различиями в химическом составе мясных снеков: снижение содержания жира в опытном образце (13,6 % против 14,6 % в контрольном) способствует уплотнению белковой матрицы, повышая твердость за счет сниженного пластифицирующего эффекта жира, как показано в исследованиях по сушеным мясным продуктам (где более низкий уровень жира увеличивает усилие сдвига и твердость на 5–10 %) [148]. Одновременный рост белка (55,0 % против 54,3 %) усиливает этот эффект, формируя более плотную структуру. Параметры работы деформации (например, общая работа: 18,33 мДж в опытном образце против 13,51 мДж в контрольном) и

разлома также близки, что не влияет на общую сенсорную оценку продукта и может быть связано с вариабельностью степени дегидратации. На рисунке 4.24 представлены кривые «нагрузка – время» компрессионного теста (ТРА) мясных снеков из баранины при вертикальном сжатии цилиндрическим зондом ТА5.



а)



б)

Рисунок 4.24 – Кривые «нагрузка – время» компрессионного теста (ТРА) мясных снеков из баранины при вертикальном сжатии цилиндрическим зондом ТА5

а) опытный образец; б) контрольный образец

Для опытного образца (а) кривая демонстрирует крутой линейный подъем нагрузки до пикового значения примерно 2123,5 гс, за которым следует резкое снижение до уровня, близкого к нулю, с последующей стабилизацией в виде горизонтальной линии с минимальными колебаниями, что отражает характерную жесткость и хрупкость структуры продукта. В случае контрольного образца (б) аналогичная динамика наблюдается с подъемом до пика около 2016,5 гс, с последующим спадом после максимума и плоской фазой стабилизации,

подчеркивая общую близость текстурных характеристик обоих образцов в механических свойствах.

Для дополнения и уточнения результатов компрессионного теста, отражающих общую жесткость и деформационные характеристики сушёных мясных снеков, был проведен дополнительный пенетрационный режим анализа профиля текстуры (ТРА). Этот подход позволяет углубить оценку текстуры за счет фокуса на хрупкости, сопротивлении проколу и энергии разрушения, что особенно актуально для продуктов с неоднородной структурой, имитируя процессы надкусывания и проникновения. Использование конического зонда ТА15/1000 для прокола при тех же условиях нагрузки и скорости обеспечивает прямую сопоставимость данных, раскрывая аспекты, не полностью охваченные сжатием, такие как локальная ломкость и поверхностная прочность.

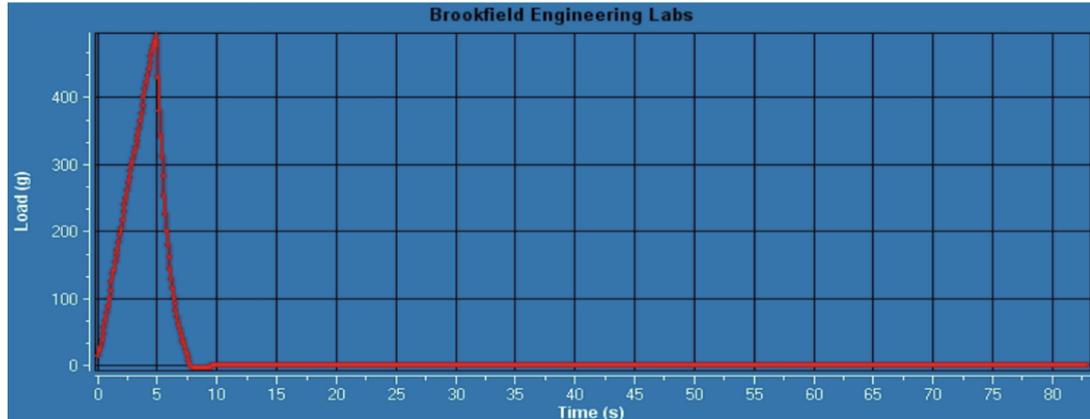
В таблице 4.20 представлены результаты пенетрационного режима анализа профиля текстуры (ТРА).

Таблица 4.20 – Параметры пенетрационного теста (ТРА) мясных снеков из баранины

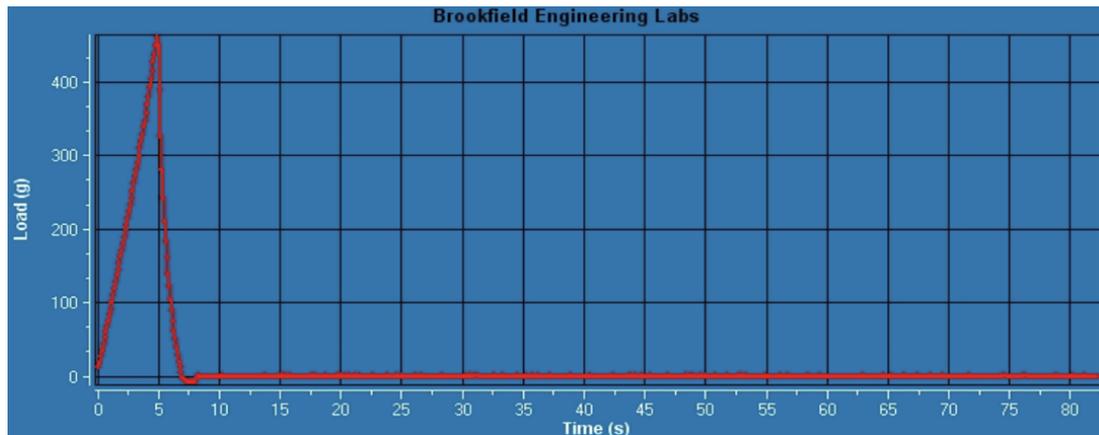
Наименование показателя	Значение	
	Контрольный образец	Опытный образец
Твердость, гс	460,50	493,00
Деформация при твердости, мм	4,92	4,91
Отн. деформация при твердости	0,70	0,70
Работа твердости (энергия деформации до максимальной нагрузки), мДж	10,45	12,07
Восстанавливаемая деформация после снятия нагрузки, мм	1,92	2,84
Восстанавливаемая работа после снятия нагрузки, мДж	2,99	4,39
Общая работа, мДж	13,44	16,46
Пиковое напряжение, Па	22580,00	24173,00
Длина нитевидности, мм	0,93	1,01
Снижение нагрузки при первом разломе, гс	460,50	493,00

Примечание: гс – грам-сила; мм – миллиметр; мДж – миллиджоуль (показатель работы/энергии); Па – паскаль, единица напряжения

Результаты пенетрационного анализа, представленные в таблице 4.20, демонстрируют сходство структурно-механических свойств опытного и контрольного образцов, подтверждая стабильность текстуры продукта. Для наглядного представления результатов пенетрационного теста приведены текстурные профили на рисунке 4.25.



а)



б)

Рисунок 4.25 – Кривые «нагрузка – время» пенетрационного теста (ТРА) при проколе коническим зондом TA15/1000

а) опытный образец; б) контрольный образец

На графике (а) нагрузка почти линейно растёт от нулевого уровня до пика около 493 гс, затем сразу же снижается к базовой линии и остаётся на ней до конца записи, дополнительных пиков не отмечено. На графике (б) кривая имеет ту же форму, однако максимальная нагрузка ниже – примерно 460,5 гс, а участок

разгрузки немного длиннее, что отражает меньшую твёрдость и энергию разрушения.

Таким образом, небольшое увеличение твёрдости, пикового напряжения и общей работы деформации у опытного образца согласуется с более плотной белковой матрицей и несколько меньшим содержанием жира, установленными при анализе химического состава. На этом основании можно считать, что использование сырья опытной группы, характеризующегося прижизненно сформированной более плотной белковой структурой и пониженной жирностью, приводит к формированию более плотной, «жевательной» структуры, характерной для сушёных мясных изделий и не выходящей за пределы, приемлемые с точки зрения потребительского восприятия. Полученные структурно-механические параметры согласуются с данными органолептической оценки и подтверждают стабильность текстурных свойств разработанного продукта.

4.8 Органолептические свойства мясных снеков из баранины

В ходе исследования проведена органолептическая оценка опытного и контрольного образцов мясных снеков, высушенных при температуре 60 °С. Оценка осуществлялась профессорско-преподавательским составом кафедры «Технология производства и переработки продукции животноводства» ФГБОУ ВО Вавиловский университет по 9-балльной шкале (1 – крайне низкое качество, 9 – отличное).

Сравнительные характеристики образцов по ключевым сенсорным параметрам представлены на рисунке 4.26.

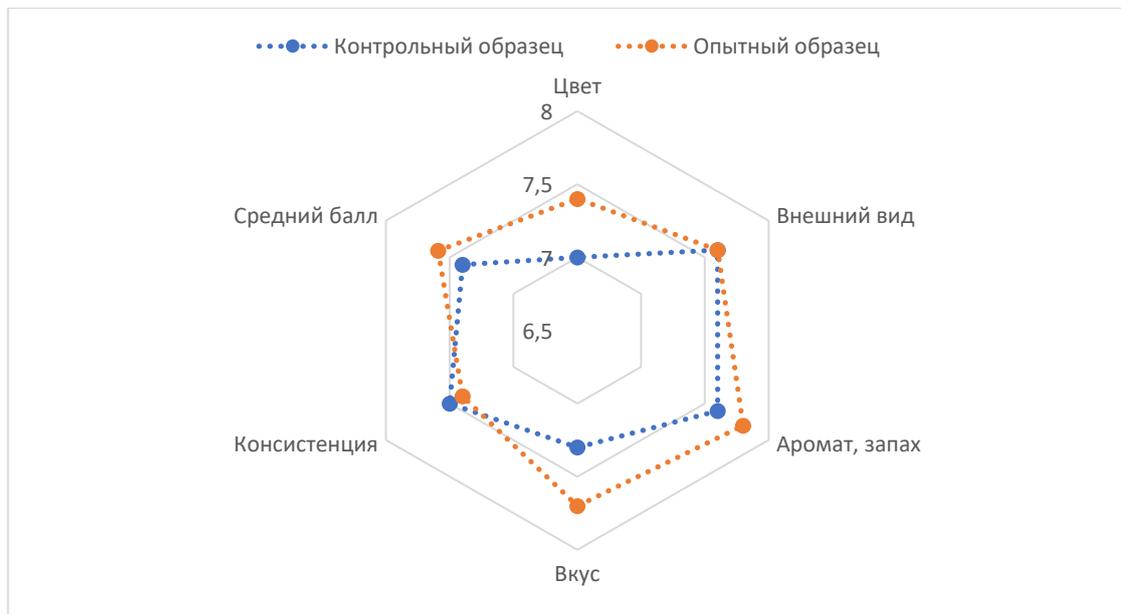


Рисунок 4.26 – Органолептический профиль образцов мясных снеков из баранины

Установлено, что оба образца мясных снеков из баранины обладают высокими органолептическими показателями. При этом опытный образец отличается усиленным пряным оттенком аромата и более сбалансированным мясным вкусом. Остальные параметры – внешний вид, цвет и консистенция – у двух вариантов практически не различаются. Сенсорная однородность по основным визуальным и текстурным характеристикам при сохранении различий по аромату и вкусу свидетельствует о том, что модификация сырья и рецептуры не нарушила базовую потребительскую ожидаемость изделия, а уточнила его вкусоароматический профиль.

Учитывая выявленные ранее различия по зольности и минеральному составу, следует отметить, что минеральные вещества, входящие в зольную фракцию, вносят вклад в формирование вкусовых ощущений, прежде всего за счёт ионов натрия, калия, кальция и магния, влияющих на восприятие солёности, горечи и общей интенсивности вкуса. В рассматриваемых образцах увеличение массовой доли золы в опытном варианте (7,5 % против 7,0 % в контрольном) при практически одинаковом содержании натрия и близких значениях влажности отражает лишь умеренное повышение общей минерализации продукта и, по данным органолептической оценки, не проявилось в виде отчётливо выраженного

минерального привкуса или заметного усиления солёности.

Преимущество опытного образца по показателям аромата (7,8 – опытный, 7,6 – контрольный) и вкуса (7,7 – опытный, 7,3 – контрольный), вероятно, связано с несколько меньшим содержанием жира и более выраженной концентрацией ароматических соединений в сухом веществе. Жировая фаза при этом остаётся достаточной для переноса и удержания летучих ароматических соединений, характерных для баранины, что обеспечивает выраженный, но не избыточный пряно-мясной аромат. Оба образца полностью соответствуют нормативным требованиям по органолептическим показателям и демонстрируют высокую потребительскую привлекательность. На этом основании опытный образец можно рассматривать как продукт с более выраженным и гармоничным вкусоароматическим профилем при сохранении общего уровня органолептического качества на уровне контрольного образца.

Таким образом, органолептическая оценка в совокупности с инструментальными метриками текстуры подтверждает высокий и устойчивый уровень качества продукта на основе обогащённого сырья. Поскольку потребительская привлекательность определяется не только исходными сенсорными характеристиками, но и их сохранностью в процессе хранения, далее рассматриваются факторы, обеспечивающие стабильность качества: микробиологическая безопасность и окислительная устойчивость липидной фракции.

4.9 Исследование микробиологической безопасности и окислительной устойчивости мясных снеков из баранины в процессе хранения

Для подтверждения сохранности потребительских свойств в ходе хранения проведены исследования опытных и контрольных образцов. Образцы упаковывались в вакуумную упаковку и хранились при комнатной температуре 18–20 °С и влажности воздуха не более 75 %. Определение перекисного и кислотного чисел выполнялось в начале эксперимента (на 0 сутки) и по завершении 90-

суточного периода хранения. Параллельно образцы подвергались микробиологическим исследованиям. Такой подход позволил комплексно охарактеризовать изменение качества снеков в процессе хранения как с биохимической, так и с микробиологической точек зрения. В рамках настоящего исследования указанный комплекс показателей рассматривался как интегральный критерий, позволяющий количественно подтвердить, что заложенные на стадии разработки рецептуры и режимов обработки барьерные факторы обеспечивают стабильность качества и безопасности продукта в течение заявленного срока хранения. Под кислотным числом понимают массу гидроксида калия (в миллиграммах), необходимую для полной нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в одном грамме жира или масла [149]. Увеличение этого показателя свидетельствует о гидролизе триглицеридов и прогрессирующей гидролитической порче продукта [150]. Перекисное число отражает концентрацию гидроперекисей – первичных продуктов окисления липидов – и служит показателем начальной стадии окислительной порчи жиров [151].

Полученные результаты по показателям кислотного и перекисного чисел в динамике хранения представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Показатели окислительной порчи мясных снеков из баранины в процессе хранения

Срок хранения, сут	Значение				Норматив	
	Контрольный образец		Опытный образец			
	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг
0	0,22±0,04	0,64±0,04	0,24±0,04	0,61±0,04	4,0	10,0
90	2,92±0,10	3,16±0,12	2,97±0,10	3,12±0,12		

Установлено, что в процессе хранения мясных снеков из баранины показатели окислительной порчи изменялись незначительно. Кислотное число, характеризующее степень гидролиза липидов, в процессе хранения постепенно увеличивалось, однако по завершении 90 суток составило 2,97±0,10 мг КОН/г жира (опытный образец) и 2,92±0,10 мг КОН/г жира (контрольный образец), а

перекисное число, отражающее начальную стадию окисления липидов, достигло соответственно $3,12 \pm 0,12$ и $3,16 \pm 0,12$ ммоль O_2 /кг, что значительно ниже установленных гигиенических нормативов: 4,0 мг КОН/г жира и 10,0 ммоль O_2 /кг. На этом основании можно заключить, что антиоксидантный потенциал продукта и барьерные факторы технологии, предусмотренные применяемой рецептурой и режимами обработки (снижение активности воды, вакуумная упаковка), достаточны для предотвращения выраженной гидролитической и окислительной порчи липидов в течение 90 суток хранения.

Микробиологические показатели образцов мясных снеков в процессе хранения при температуре $+20^\circ\text{C}$ представлены в таблице 4.22.

Таблица 4.22 – Микробиологические показатели мясных снеков в процессе хранения

Наименование показателя	Значение		Норматив (по ТР ТС 034/2013)
	Контрольный образец	Опытный образец	
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП) в 0,1 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 1 г
Бактерии вида <i>Escherichia coli</i> , в 1 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 1 г
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 1 г
Патогенные микроорганизмы, включая <i>Salmonella spp.</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
Сульфитредуцирующие бактерии рода <i>Clostridium</i> , КОЕ/г, в 0,01 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 0,01 г

Микробиологический контроль мясных снеков после 90 суток хранения при $18\text{--}20^\circ\text{C}$ показал, что бактерии группы кишечной палочки, включая *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, сульфитредуцирующие бактерии рода *Clostridium*, а также *Salmonella spp.* и *Listeria monocytogenes* не выявлены, что свидетельствует о микробиологической безопасности технологии производства.

При таких условиях хранения в вакуумной упаковке, как правило, сохраняется доминирование молочнокислой микрофлоры, формирующейся на стадии посола и ферментации, что дополнительно ограничивает развитие

патогенных микроорганизмов за счёт продукции органических кислот и снижения pH. Вакуумная упаковка способствует увеличению срока хранения и обеспечению микробиологической безопасности продуктов [152, 153].

Таким образом, динамика изменения ключевых биохимических показателей, отражающих гидролиз и окисление липидов, оставалась в пределах установленных гигиенических нормативов, подтверждая сохранение пищевой безопасности продукта в течение всего срока хранения. Микробиологический анализ выявил отсутствие патогенной микрофлоры, что свидетельствует о строгом соблюдении санитарно-гигиенических требований на этапах производства. Использование вакуумной упаковки и стабильных условий хранения минимизировало риск вторичного микробиологического загрязнения, обеспечив стабильность продукта в течение всего срока хранения.

Выводы по главе

1. Усовершенствована технология производства мясных снеков из обогащенной баранины. Технология включает подготовку охлаждённого мяса, нарезку и подмораживание, посол и ферментацию с применением стартовых культур «ПрестоСтарт FB-СА3», конвективную сушку при 50–60 °С до достижения активности воды $a_w \leq 0,85$ и массовой доли влаги 23,5-24,5 %, последующее охлаждение и вакуумную упаковку. Срок годности - 90 суток при 18–20 °С и относительной влажности воздуха не более 75 % при выполнении требований ТР ТС 022/2011. Разработанная схема сочетает несколько барьеров (кислотность, активность воды, тепловую обработку и вакуумную упаковку), что обеспечивает устойчивое качество и безопасность снеков.

2. Разработана квадратичная модель и оптимизирована рецептура посолочной смеси по целевому показателю pH. Обоснованы дозировки на 100 г продукта: соль 1,718 г, нитритная соль 0,960 г (в сумме 2,68 г/100 г), сахар 0,19 г/100 г, стартовые культуры 0,029 г/100 г. Модели pH и a_w адекватны ($R^2 = 0,984$ и $0,960$; $R^2_{adj} = 0,968$ и $0,919$). Установлено, что на pH значимо влияют стартовые

культуры (линейный и квадратичный эффекты) и сахар (линейный эффект), тогда как a_w определяется прежде всего дозой соли, влияние сахара и культур статистически незначимо. Полученные зависимости позволяют целенаправленно управлять процессом посола, задавая необходимый уровень кислотности и активности воды уже на стадии ферментации, что снижает вероятность отклонений по качеству в производственных условиях.

3. Установлено, что после 7-часовой сушки при 60 °С в опытных снеках по сравнению с контролем сохраняются отличия в химическом составе: белок 55,0 % против 54,3 % (рост на 1,3 %), зола 7,5 % против 7,0 % (рост на 7,1 %), жир 13,60 % против 14,60 % (снижение на 6,9 %), влажность 23,90 % против 24,10 % (на 0,8 % ниже). Энергетическая ценность опытного образца составляет 342,4 ккал против 348,6 ккал у контроля (-1,8 %). Показано статистически значимое ($P < 0,05$) повышение содержания макроэлементов: кальций +52,7 %, магний +37,8 %, фосфор +25,4 %, калий +11,1 %, а также небольшой рост микроэлементов: цинк +8,3 %, железо +3,8 %, натрий +0,6 %. На этом основании мясные снеки из опытного сырья могут рассматриваться как продукт с более благоприятным соотношением белка, жира и минеральных веществ при несколько меньшей энергетической плотности.

4. На основе методологии поверхностей отклика и плана Вох–Behnken построена математическая модель процесса конвективной сушки мясных снеков из баранины, которая достоверно описывала изменение остаточной влажности в зависимости от температуры сушильного агента, толщины и длины ломтиков. На основе математической модели осуществлена оптимизация режима, в результате чего установлен рациональный вариант: температура 60 °С, толщина ломтиков 1 мм, длина 4 см, при котором конечная влажность продукта составляла 23,5–24,5 %, что соответствовало заданным требованиям к качеству.

5. Установлено, что кинетика обезвоживания тонких ломтиков баранины толщиной 1 мм при конвективной сушке в диапазоне температур 50–60 °С и скорости обдува около 0,5 м/с воспроизводима и корректно описывается моделью Page: $R^2 = 0,9946–0,9977$, $\chi^2 = 0,000504–0,001163$, $RMSE = 0,0174–0,0264$.

Температурная зависимость эффективного коэффициента влагодиффузии удовлетворительно описывается уравнением Аррениуса ($E_a = 23,7$ кДж/моль, $D_0 = 7,59 \times 10^{-8}$ м²/с, $R^2 = 0,995$). Полученные кинетические параметры могут быть использованы для прогнозирования длительности сушки и расчёта режимов при изменении геометрических размеров ломтиков и температуры, что важно при проектировании и масштабировании процесса.

6. Установлено, что структурно-механические свойства опытных и контрольных снеков близки по основным показателям: при компрессии твёрдость 2123,50 против 2016,50 гс, пиковое напряжение 90412,00 против 82474,00 Па, работа деформации 18,33 против 13,51 мДж; при пенетрации твёрдость 493,00 против 460,50 гс, пиковое напряжение 24173,00 против 22580,00 Па, работа 16,46 против 13,44 мДж. Небольшое увеличение твёрдости и работы деформации в опытном образце отражает более плотную, «жевательную» структуру снеков из обогащённого сырья при сохранении общей текстурной однородности с контрольным вариантом.

7. Показано, что через 90 суток хранения кислотное число опытного образца составляет $2,97 \pm 0,10$ мг КОН/г, а контрольного $2,92 \pm 0,10$ мг КОН/г, перекисное число – $3,12 \pm 0,12$ ммоль/кг и $3,16 \pm 0,12$ ммоль/кг соответственно. Эти значения существенно ниже предельных показателей (4,0 мг КОН/г и 10,0 ммоль/кг) и свидетельствуют о высокой окислительной стабильности продукта в течение заявленного срока хранения.

8. Установлено, что оба варианта мясных снеков из баранины характеризуются высокими органолептическими показателями, при этом опытный образец отличается более выраженным пряным ароматом. По результатам микробиологических исследований после трёх месяцев хранения при 18–20 °С показатели безопасности разработанного продукта полностью соответствуют требованиям ТР ТС 034/2013, что позволяет отнести предлагаемую технологию к числу обеспечивающих стабильный уровень микробиологической безопасности на всём заявленном сроке годности.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ СНЕКОВ ИЗ БАРАНИНЫ

5.1 Экономическая оценка производства мясных снеков из баранины в технологической цепочке «сырьё – продукт»

В качестве сырья для производства мясных снеков использовали мясное сырьё, полученное от баранчиков эдильбаевской породы контрольной и опытной групп по 20 животных в каждой. В контрольной группе животные получали традиционный рацион, в опытной группе – тот же рацион с введением бифидогенной кормовой добавки «ЛактуВет-1», применяемой в рамках технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани.

По результатам исследований суммарная масса мясного сырья, направляемого на переработку, составила 328,8 кг в контрольной группе и 361,0 кг в опытной группе. Указанные значения приняты в качестве расчётного объёма сырья для определения себестоимости 1 кг баранины и для последующей экономической оценки производства мясных снеков.

Стоимость кормовой добавки «ЛактуВет-1» учтена в составе прямых затрат опытной группы и составила 3 960,00 руб. при цене 110,00 руб./кг. Себестоимость 1 кг баранины определяли как отношение полной суммы затрат по группе к массе мясного сырья, полученного в группе.

Для контрольной группы себестоимость составила $277\,494,33 / 328,8 = 843,96$ руб./кг.

Для опытной группы себестоимость составила $285\,147,63 / 361,0 = 789,88$ руб./кг. Полная сумма затрат на формирование сырьевой базы составила 277 494,33 руб. в контрольной группе и 285 147,63 руб. в опытной группе, то есть в опытной группе выше на 7 653,30 руб.

При этом себестоимость 1 кг баранины в опытной группе ниже на 54,08 руб./кг, что обусловлено распределением совокупных затрат на больший объём

полученного мясного сырья. Полная калькуляция себестоимость мясного сырья представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Калькуляция себестоимости в контрольной и опытной группах

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа, руб.	Опытная группа, руб.
Основное сырьё	176 974,00	181 506,00
Вспомогательные материалы	28 898,00	29 928,00
Транспортно-заготовительные расходы на корма и добавку	1 102,50	1 300,50
Прочие расходы	441,00	441,00
Общехозяйственные расходы	6 176,16	6 343,02
Административные расходы	10 293,60	10 571,70
Затраты на оплату труда при формировании сырьевой базы	41 174,40	42 286,80
Страховые взносы (30,2 %)	12 434,67	12 770,61
Себестоимость, 1 кг	843,96	789,88
Итого затрат	277 494,33	285 147,63

Итоговые экономические показатели формирования сырьевой базы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Основные экономические показатели формирования сырьевой базы

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Общая сумма затрат, руб.	277 494,33	285 147,63
Масса мясного сырья, кг	328,8	361,0
Себестоимость 1 кг баранины, руб/кг	843,96	789,88

Данные таблицы 5.2 показывают, что использование добавки «ЛактуВет-1» в составе технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани баранчиков, несмотря на небольшое увеличение совокупных затрат, позволяет снизить себестоимость 1 кг баранины и сформировать более

экономически выгодную сырьевую базу для последующего производства мясных снеков из полученной баранины с повышенным макроэлементным составом.

Реализация указанных предпосылок была проверена на следующем этапе исследования – при экономической оценке производства мясных снеков из баранины контрольной и опытной групп. Производство мясных снеков включает операции подготовки сырья, нарезки, посола и перемешивания, выдержки, сушки, охлаждения, фасования и упаковки.

При этом сырьевой блок затрат формировался исходя из полученной выше себестоимости 1 кг баранины в опытной группе (789,88 руб./кг), что определяет основную долю затрат на готовый продукт. Для расчёта затрат на переработку использовано 361,0 кг мяса опытной группы, себестоимость которого включает все затраты на формирование сырьевой базы. Общие затраты на получение баранины составили 285 147,63 руб., что соответствует себестоимости мяса 789,88 руб./кг при массе мясного сырья 361,0 кг.

В таблице 5.3 приведён расчёт стоимости дополнительных компонентов для переработки на 100 кг мясного сырья.

Таблица 5.3 – Расчёт стоимости сырья на 100 кг

Наименование показателя	Значение		
	На 100 кг мяса, кг	Стоимость, руб./кг	Затраты, руб.
Соль пищевая	1,8	40	72
Нитритно-посолочная смесь (нитритная соль 0,6 %)	1,0	150	150
Сахар	0,2	100	20
Стартовые культуры	0,03	1 200	36
Соевый соус	1,0	350	350
Перец чёрный	0,1	500	50
Аскорбиновая кислота	0,05	700	35
Итого	-	-	713

Согласно принятой технологической карте, на каждые 100 кг мясного сырья приходится комплекс вспомогательных компонентов (соль пищевая, нитритная соль, сахар, стартовые культуры, соевый соус, перец, аскорбиновая кислота) стоимостью 713 руб. Стоимость мясного сырья на этапе переработки принимали

по полной себестоимости формирования сырьевой базы, рассчитанной ранее по группам. Поэтому прямые материальные затраты на переработку включают стоимость мясного сырья и стоимость вспомогательных ингредиентов по технологической карте.

Контрольная партия: $K = 328,8 / 100 = 3,288$ Ингредиенты: $713 \times 3,288 = 2\,344,34$ руб.

Прямые материальные затраты: $277\,494,33 + 2\,344,34 = 279\,838,67$ руб.

Опытная партия: $K = 361,0 / 100 = 3,61$

Ингредиенты: $713 \times 3,61 = 2\,573,93$ руб.

При переработке 361 кг мяса это соответствует 3,61 условным партиям ингредиентов. $K = 361 / 100 = 3,61$. Для контрольной партии (328,8 кг) $K = 3,288$.

Затраты на вспомогательные компоненты рассчитываются так: $713 \times 3,61 = 2\,573,93$ руб.

Далее к этим расходам добавляются прямые затраты на мясо, уже учтённые на этапе формирования сырьевой базы, которые составили 285 147,63 руб., что соответствует себестоимости 789,88 руб./кг при переработке 361,0 кг мяса опытной группы. Таким образом формируется общий объём прямых материальных затрат: $285\,147,63$ руб. (мясо) + $2\,573,93$ руб. (ингредиенты) = $287\,721,56$ руб.

Для обоснования состава основных средств и последующего расчёта амортизационных отчислений приведён перечень оборудования (см. таблицу 5.4)

Таблица 5.4 – Технологическое оборудование

Технологическая операция	Значение	
	Наименование оборудования	Ориентировочная стоимость, руб.
Санитарная обработка	Стерилизатор для ножей Sirman U.V.A. 24W	67 186,00
Подготовка и фасование	Стол производственный NICOLD НСЗК-13/7, двери-купе	44 870,00
Нарезка	Слайсер Sirman Palladio 350 Automatica	429 436,80
Охлаждение	Холодильный шкаф Polair CM107-S	83 660,00
Подмораживание	Морозильный ларь Frostor F 500 S	46 427,00

Сушка	Промышленная сушильная камера для мяса KITFORT	1 850 000,00
Контроль режима	Термогигрометр-логгер Testo 174Н	18 628,00
Контроль массы	Весы порционные OHAUS Valor 4000 V41XWE3T	26 336,00
Упаковка	Упаковщик вакуумный камерный Henkelman Boxer 42	486 930,00

В пределах цикла выполняется полный комплекс операций подготовки, посола, сушки, охлаждения, фасования и упаковки. Длительность технологического цикла, исходя из нормативов на операции посола (24 часа) и сушки с учётом вспомогательных операций, принята равной 2 календарным дням. Работы организованы в три смены в сутки, поэтому в течение цикла выполняется 6 смен. При численности бригады 4 человека суммарная трудоёмкость составляет 24 человеко-смены (4 × 6). Следующий компонент в структуре себестоимости – затраты на электроэнергию (см. таблицу 5.5). Тариф – 7,35 руб./кВт·ч.

Таблица 5.5 – Расчёт затрат на электроэнергию (опытная группа)

Наименование оборудования	Значение			
	Мощность оборудования, кВт	Время работы, ч	Потребляемая энергия, кВт·ч	Стоимость, руб.
Стерилизатор для ножей Sirman U.V.A. 24W	0,024	12,00	0,29	2,12
Стол производственный NICOLD HC3K-13/7	–	–	–	–
Слайсер Sirman Palladio 350 Automatica	0,55	6,00	3,30	24,26
Холодильный шкаф Polair CM107-S	0,35	24,00	8,40	61,74
Морозильный ларь Frostor F 500 S	0,23	4,80	1,10	8,11
Упаковщик вакуумный камерный Henkelman Boxer 42	1,00	4,00	4,00	29,40
Сушильная камера KITFORT	30,0	22,50	675,00	4 961,25

Продолжение таблицы 5.5

Термогигрометр-логгер Testo 174H	–	–	–	–
Весы порционные OHAUS Valor 4000	–	–	–	–
Итого	–	–	692,09	5 086,88

В контрольной группе при переработке 328,8 кг мясного сырья (выход снеков 124,615 кг) суммарные затраты на электроэнергию за технологический цикл составили 5 081,18 руб. при расходе 691,32 кВт·ч и тарифе 7,35 руб./кВт·ч. По сравнению с опытной группой (361,0 кг) затраты ниже на 5,70 руб., поскольку при меньшем объёме переработки сокращается продолжительность работы оборудования, время которого зависит от количества обрабатываемого сырья и объёма фасования, а именно стерилизатора, слайсера, морозильного ларя и вакуумного упаковщика.

Следующий компонент – затраты на воду и водоотведение (см. таблицу 5.6). Для расчёта учтены нормативные значения потребления воды на 100 кг сырья. Водоснабжение и водоотведение учтены суммарно.

Таблица 5.6 – Расчёт затрат на воду и водоотведение

Вид затрат	Цена, руб./ед.	Значение	
		Контрольная партия	Опытная партия
Услуги водоснабжения и водоотведения	65,77	0,6576 м ³	0,7220 м ³
Итого	–	43,25 руб.	47,49 руб.

Примечание: Цена 65,77 руб./м³ рассчитана как сумма тарифов на водоснабжение и водоотведение: водоснабжение 42,47 руб./м³, водоотведение 23,30 руб./м³

Амортизация оборудования рассчитана линейным методом. Для сопоставимости вариантов месяц принят равным 30 дням (см. таблицу 5.7).

Таблица 5.7 – Расчёт амортизационных отчислений оборудования

Наименование оборудования	Значение			
	Стоимость, руб.	Срок полезного использования, лет	Амортизация в месяц, руб.	Амортизация за день, руб.
Стерилизатор для ножей Sirman U.V.A. 24W	67 186,00	5	1 119,77	37,33
Стол производственный NICOLD HCЗК-13/7	44 870,00	10	373,92	12,46
Слайсер Sirman Palladio 350 Automatica	429 436,80	7	5 112,34	170,41
Холодильный шкаф Polair CM107-S	83 660,00	10	697,17	23,24
Морозильный ларь Frostor F 500 S	46 427,00	10	386,89	12,90
Сушильная камера для мяса KITFORT	1 850 000,00	10	15 416,67	513,89
Термогигрометр-логгер Testo 174H	18 628,00	5	310,47	10,35
Весы OHAUS Valor 4000 V41XWE3T	26 336,00	5	438,93	14,63
Упаковщик вакуумный Henkelman Boxer 42	486 930,00	10	4 057,75	135,26
Итого	–	–	27 913,91	930,47

Примечание: Амортизация оборудования за цикл 2 дня, руб. составила 1860,94

Далее рассчитываются расходы, которые включают заработную плату, страховые взносы (см. таблицу 5.8).

Таблица 5.8 – Затраты на оплату труда и страховые взносы

Наименование статьи расходов	Численность в смену, чел	Зарботная плата 1 работника за смену, руб.	Количество смен, шт.	Сумма, руб.
Зарботная плата работников	4	1 798,26	6	43 158,24
Страховые взносы во внебюджетные фонды, 30,2 %	–	–	–	13 033,79
Итого	–	–	–	56 192,03

Длительность технологического цикла принята равной 2 календарным дням. Работы организованы в три смены в сутки, поэтому в течение цикла выполняется 6 смен. Численность работников в смену составляет 4 человека. Следовательно, суммарная трудоёмкость технологического цикла равна 24 человеко-сменам (4 ×

б). Затраты на оплату труда рассчитаны исходя из сменной оплаты труда одного работника и начислений страховых взносов. Накладные расходы по группам представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Накладные расходы (контрольная и опытная партии)

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Заработная плата работников, руб.	43 158,24	43 158,24
Страховые взносы (30,2 %), руб.	13 033,79	13 033,79
Амортизация оборудования за цикл 2 дня, руб.	1 860,94	1 860,94
Снабженческо-складские и коммерческие расходы (5 % от прямых материальных затрат), руб.	13 991,93	14 386,08
Итого накладные расходы, руб.	72 044,90	72 439,05

Снабженческо-складские и коммерческие расходы приняты по нормативу 5 % от прямых материальных затрат. После определения прямых материальных затрат, затрат на электроэнергию и воду, а также накладных расходов рассчитывается стоимость упаковки (см. таблицу 5.10), также учтены затраты на транспортную тару и транспортные расходы.

Таблица 5.10 – Расчёт стоимости упаковки и транспортных расходов (контрольная и опытная группы)

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение				
		Кол-во (контрольная группа)	Цена, руб.	Сумма (контрольная группа), руб.	Кол-во (опытная группа)	Сумма (опытная группа), руб.
Рулонная плёнка для вакуума PA/PE (высокобарьерная)	м	880	26,00	22 880,00	965	25 090,00
Этикетка самоклеящаяся (полноцветная)	шт.	2 119	3,00	6 357,00	2 327	6 981,00
Короб транспортный 5 кг	шт.	25	60,00	1 500,00	28	1 680,00
Транспортные расходы	усл.	1	5 000,00	5 000,00	1	5 489,67
Итого				35 737,00		39 240,67

В таблице 5.11 представлена калькуляция себестоимости 1 технологического цикла (2 дня).

Таблица 5.11 – Калькуляция себестоимости 1 технологического цикла (2 дня) производства мясных снеков

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Прямые материальные затраты, руб.	279 838,67	287 721,56
Энергозатраты (электроэнергия + вода и водоотведение), руб.	5 124,43	5 134,37
Накладные расходы, руб.	72 044,90	72 439,05
Затраты на упаковку партии, руб.	35 737,00	39 240,67
Полная себестоимость технологического цикла, руб.	392 745,00	404 535,65
Выход снеков, кг	124,615	136,819
Себестоимость 1 кг снеков, руб./кг	3 151,67	2 956,72

Полученные показатели позволяют корректно формировать цену реализации и проводить сравнение с ценами аналогичной продукции конкурентов (см. таблицу 5.12).

Таблица 5.12 – Результаты мониторинга цен на снековую продукцию из баранины

Производитель / марка	Цена за 1 кг, руб
«Идеально к пиву» (Снеки40) – Чипсы из баранины классические	2 571,43
«БИГ ЭНЕРДЖИ» Мясные чипсы из баранины	2 946
Снеки КОРС – Мясные снеки со вкусом баранины	3 180,00
jerked.ru – Баранина вяленая, весовой снек	3402
РОКЛИК – Вяленое мясо (jerky) из баранины	3 900,00
Разрабатываемые мясные снеки из баранины (опытная партия)	3250

Анализ данных таблицы 5.12 показывает, что цены на снековую продукцию из баранины в премиальном сегменте находятся в диапазоне 2 571,43–3 900,00 руб./кг. Для дальнейших экономических расчётов принята цена реализации 3 250,00 руб./кг, соответствующая рыночному диапазону.

Расчёт финансовых результатов реализации продукции.

Контрольная группа (328,8 кг сырья, выход снеков 124,615 кг)

Прямые материальные затраты – 279 838,67 руб.

Затраты на энергоносители – $(5\,081,18 + 43,25) = 5\,124,43$ руб.

Накладные расходы – 72 044,90 руб.

Упаковка – 35 737,00 руб.

Полная себестоимость контрольной группы:

$$279\,838,67 + 5\,124,43 + 72\,044,90 + 35\,737,00 = 392\,745,00 \text{ руб.}$$

Себестоимость 1 кг снеков:

$$392\,745,00 / 124,615 = 3\,151,67 \text{ руб./кг}$$

Выручка:

$$124,615 \times 3\,250 = 404\,998,75 \text{ руб.}$$

Прибыль:

$$404\,998,75 - 392\,745,00 = 12\,253,75 \text{ руб.}$$

Рентабельность:

$$(12\,253,75 / 392\,745,00) \times 100 = 3,12 \%$$

Опытная группа (361,0 кг сырья, выход снеков 136,819 кг)

Прямые материальные затраты – 287 721,56 руб.

Затраты на энергоносители – (5 086,88 + 47,49) = 5 134,37 руб.

Накладные расходы – 72 439,05 руб.

Упаковка – 39 240,67 руб.

Полная себестоимость опытной группы:

$$287\,721,56 + 5\,134,37 + 72\,439,05 + 39\,240,67 = 404\,535,65 \text{ руб.}$$

Себестоимость 1 кг снеков:

$$404\,535,65 / 136,819 = 2\,956,72 \text{ руб./кг}$$

Выручка:

$$136,819 \times 3\,250 = 444\,661,75 \text{ руб.}$$

Прибыль:

$$444\,661,75 - 404\,535,65 = 40\,126,10 \text{ руб.}$$

Рентабельность:

$$(40\,126,10 / 404\,535,65) \times 100 = 9,92 \%$$

Таким образом, при цене реализации 3 250 руб./кг рентабельность производства мясных снеков составляет 3,12 % в контрольной группе и 9,92 % в

опытной группе. Основные экономические показатели представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Основные экономические показатели

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Полная себестоимость формирования сырьевой базы, руб.	277 494,33	285 147,63
Себестоимость 1 кг мясного сырья, руб./кг	843,96	789,88
Полная себестоимость технологического цикла снеков, руб.	392 745,00	404 535,65
Себестоимость 1 кг снеков, руб./кг	3 151,67	2 956,72

Снижение себестоимости 1 кг мясного сырья обусловлено увеличением массы мясного сырья в опытной группе за счёт применения кормовой добавки «ЛактуВет-1» при сопоставимой величине совокупных затрат на формирование сырьевой базы. Поскольку мясное сырьё формирует основную долю себестоимости снеков, снижение его себестоимости, а также более высокий выход готовой продукции обеспечили уменьшение себестоимости 1 кг снеков.

В связи с возможным влиянием внешних и производственных факторов далее рассмотрены риски проекта и меры их минимизации (см. таблицу 5.14).

Таблица 5.14 – Виды рисков и меры их минимизации

Виды рисков	Меры предупреждения и снижения воздействия
Колебания цен на баранину	Заключение долгосрочных контрактов с фермерскими хозяйствами; использование хеджирования закупочных цен
Снижение спроса на премиальный сегмент	Проведение регулярных маркетинговых исследований; выпуск новых вкусов и лимитированных серий
Нарушения цепочки поставок специй и добавок	Диверсификация числа поставщиков; поддержание минимального запаса ключевых ингредиентов на складе
Отказы и сбои в работе оборудования	Внедрение системы планового технического обслуживания; резервирование узлов и запчастей
Несоответствие стандартам безопасности пищевой продукции	Регулярный внутренний и внешний аудит качества

Как видно из таблицы 5.14, основными угрозами для проекта являются колебания цен на сырьё, возможное снижение спроса на премиальную продукцию, сбои в поставках ингредиентов и работе оборудования, а также риски, связанные с соблюдением требований безопасности пищевой продукции. Реализация

предложенных мер по их предупреждению позволяет снизить влияние указанных факторов и повысить устойчивость производства мясных снеков.

Таким образом, комплексная экономическая оценка формирования сырьевой базы и производства мясных снеков показала, что использование технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани с применением добавки «ЛактуВет-1» является экономически целесообразным и может быть рекомендовано к практическому внедрению при условии реализации мер по снижению производственных и рыночных рисков.

Выводы по главе

Проведённая экономическая оценка формирования сырьевой базы показала, что использование бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани баранчиков эдильбаевской породы сопровождается увеличением общей суммы затрат с 277 494,33 до 285 147,63 руб. (на 7 653,30 руб., или на 2,76 %). При этом масса мясного сырья, направляемого на переработку, увеличилась с 328,8 до 361,0 кг, что обусловило снижение себестоимости 1 кг баранины с 843,96 до 789,88 руб./кг (на 54,08 руб./кг, или на 6,41 %) и формирование более экономически выгодной сырьевой базы для последующей переработки при одновременном повышении минеральной ценности мяса. Калькуляция полной себестоимости производства мясных снеков показала, что определяющим элементом затрат остаются прямые материальные расходы на мясное сырьё, а доля энергозатрат (электроэнергия, вода и водоотведение) в полной себестоимости технологического цикла составляет около 1,3 %. Установлено, что переработка баранины опытной группы обеспечивает удельную себестоимость снеков 2 956,72 руб./кг против 3 151,67 руб./кг при использовании сырья контрольной группы (снижение на 194,95 руб./кг, или на 6,19 %). При принятой цене реализации 3 250 руб./кг прибыль составила 12 253,75 руб. и рентабельность 3,12 % в контрольной партии, а также 40 126,10 руб. и 9,92 % в опытной партии, что количественно подтверждает

экономическое преимущество технологии прижизненного формирования макроэлементного профиля мышечной ткани с применением «ЛактуВет-1».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе научно и экспериментально обоснована целесообразность прижизненного формирования макроэлементного профиля мышечной ткани овец эдильбаевской породы с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», а также усовершенствована технология производства мясных снеков из полученного мясного сырья.

1. Анализ научной, научно-технической и патентной литературы выявил недостаточную экспериментальную проработанность вопросов прижизненного формирования нутритивных характеристик мышечной ткани, а также недостаточную обоснованность режимов посола и конвективной сушки мясных снеков из обогащённого сырья. Показано, что применение пребиотических и пробиотических добавок способствует повышению стабильности технологических свойств мясного сырья, а качество и безопасность снеков в решающей степени определяются посолом, сушкой и использованием стартовых культур. Следовательно, требуется комплексное исследование технологической цепочки «сырьё – продукт» с оценкой сохранности сформированных показателей.

2. Установлено, что включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы сопровождалось увеличением массы мясного сырья, что выразилось в увеличении массы мякоти с $16,44 \pm 0,19$ до $18,05 \pm 0,16$ кг, то есть на 9,8 % ($P < 0,001$), а также ростом предубойной массы животных с $46,44 \pm 0,35$ до $48,62 \pm 0,31$ кг, то есть на 4,7 % ($P < 0,01$). При применении добавки «ЛактуВет-1» (лактuloза + Ca, Mg, K, P) отмечено повышение содержания макроэлементов в мышечной ткани опытной группы: кальция – на 55,1 % ($P < 0,001$), магния – на 40,0 % ($P < 0,01$), фосфора – на 27,3 % ($P < 0,01$), калия – на 12,9 % ($P < 0,05$). На уровне химического состава баранины показано снижение доли жира на 6,58 % ($P < 0,05$) при одновременном росте содержания белка на 1,55 % и золы на

14,29 %. Суммарное содержание аминокислот увеличилось на 1,8 %, в том числе триптофана – на 6,3 % и метионина – на 2,9 %.

3. Усовершенствована рецептура посолочной смеси и уточнены параметры технологического процесса производства мясных снеков из обогащённой баранины. На основе планирования эксперимента получена квадратичная модель, позволившая обосновать рациональный состав посолочной смеси: 2,68 г/100 г соли, в том числе 1,718 г соли пищевой и 0,960 г нитритно-посолочной смеси (нитритной соли 0,6 %), 0,19 г/100 г сахара, 0,029 г/100 г стартовых культур. После сушки в течение 7 ч при 60 °С опытный образец характеризовался более высокой массовой долей белка и золы и более низкой массовой долей жира по сравнению с контрольным образцом: белок – 55,0 % и 54,3 %, зола – 7,5 % и 7,0 %, жир – 13,6 % и 14,6 % соответственно. Энергетическая ценность опытного образца составляет 342,4 ккал/100 г, а контрольного – 348,6 ккал/100 г. Потери макро- и микроэлементов после сушки и последующего трёхмесячного хранения при 18–20 °С не превышают 20 %. Опытный образец сохраняет статистически значимое преимущество по кальцию (+52,7 %), магнию (+37,8 %), фосфору (+25,4 %) и калию (+11,1 %) по сравнению с контрольной группой.

4. Получена и проверена на адекватность квадратичная регрессионная зависимость остаточной массовой доли влаги, рассчитанная по результатам трёхфакторного плана с использованием метода поверхностей отклика. В качестве критерия оптимизации принята минимизация остаточной массовой доли влаги. Определён рациональный режим при продолжительности процесса 7 ч: температура 60 °С, толщина ломтиков 1 мм, длина 4 см. При указанных параметрах остаточная массовая доля влаги составляет 23,5–24,5 %, что соответствует минимальным значениям показателя в пределах исследованной области факторов и может быть рекомендовано для производства мясных снеков. Сенсорный анализ не выявил ухудшения органолептических показателей: оба образца получили высокие оценки, при этом опытный образец отличался более выраженным пряным ароматом и сбалансированным мясным вкусом. Микробиологический контроль подтверждает отсутствие патогенной и условно-патогенной микрофлоры

(*Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium*) после трёх месяцев хранения.

5. В результате проведённых теоретических исследований установлены закономерности массообмена при конвективной сушке мясных снеков из баранины, описана кинетика обезвоживания и обоснован критерий окончания процесса по достижении целевого значения активности воды. Показано, что кинетика изменения безразмерного влагосодержания для тонких ломтиков баранины толщиной 1 мм при скорости обдува около 0,5 м/с в исследованном температурном диапазоне корректно описывается тонкослойными эмпирическими зависимостями. Наилучшее соответствие с экспериментальными данными демонстрирует модель Page. Температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии влаги D_{eff} удовлетворительно аппроксимируется уравнением Аррениуса с энергией активации 23,7 кДж/моль, предэкспоненциальным множителем $D_0 = 7,59 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. На основе анализа кинетических кривых обоснован технологический критерий окончания сушки: снижение средней скорости обезвоживания на интервале 5–7 часов ниже 4,3 %/ч соответствует достижению активности воды $a_w \leq 0,85$, что обеспечивает микробиологическую стабильность продукта и может быть использовано для автоматизации останова процесса.

6. По результатам расчёта экономической эффективности установлено, что включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы и последующая переработка полученной баранины в мясные снеки являются экономически целесообразными. По сравнению с контрольной группой выявлено снижение себестоимости 1 кг мясного сырья с 843,96 до 789,88 руб./кг (на 54,08 руб./кг), а также снижение себестоимости 1 кг мясных снеков с 3 151,67 до 2 956,72 руб./кг (на 194,95 руб./кг). Суммарная масса мясного сырья увеличилась на 32,2 кг (с 328,8 до 361,0 кг), а выход готовой продукции – на 12,204 кг (с 124,615 до 136,819 кг). При цене реализации 3 250 руб./кг расчётная прибыль от реализации партии снеков опытной группы составляет 40 126,10 руб. при рентабельности 9,92 %, тогда как в контрольной группе прибыль составляет 12 253,75 руб. при

рентабельности 3,12 %. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1».

7. Разработана техническая документация на продукт – СТО 00493497-083-2025 (технологическая инструкция, рецептура). В рамках учебно-научно-производственного комплекса «Пищевик» была осуществлена промышленная апробация мясных снеков на базе ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Кормовую добавку «ЛактуВет-1» целесообразно включать в рацион овец эдильбаевской породы не менее чем за 30 суток до убоя, добавляя её к используемому комбикорму. При составлении рационов соотношение кормовых компонентов и энергетическую ценность сохраняют неизменными.

2. Для обеспечения стабильных органолептических свойств мясных снеков из баранины рекомендуется применять двухэтапный посол со стартовыми культурами.

3. Режим конвективной сушки мясных снеков рекомендуется устанавливать при температуре 60 °С, толщине ломтиков 1 мм и длине 4 см, при продолжительности процесса порядка 7 ч, до достижения остаточной влажности 23,5–24,5 % и активности воды $a_w \leq 0,85$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Актуальны дальнейшие исследования, направленные на совершенствование прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани с использованием минеральных кормовых добавок, включая уточнение схем и дозировок «ЛактуВет-1» и её аналогов для различных видов и пород животных. Перспективна апробация полученных результатов в технологиях производства других видов мясной продукции длительного хранения (сыровяленых и сырокопчёных изделий, деликатесов), ориентированных на повышение пищевой ценности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ААС – атомно-абсорбционная спектрометрия

ГОСТ – государственный стандарт

ВИЖ – ветеринария и животноводство

ФТК-АК – фенилтиокарбамильные производные аминокислот

ГМС – газо-модифицированная среда

СТО – стандарт организации

ТУ – технические условия

ТИ – технологическая инструкция

КЦЖК – короткоцепочечные жирные кислоты

КЧ – кислотное число

ПЧ – перекисное число

ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография

ВНИИМП – Всероссийский научный исследовательский институт мясной промышленности

УНПК – учебно-научно-производственный комплекс

ВСС – влагосвязывающая способность

БГКП – бактерии группы кишечной палочки

КОЕ – колониеобразующая единица

ТР ТС – Технический регламент Таможенного союза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 21 янв. 2020 г. № 20 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента Российской Федерации. – URL: <http://kremlin.ru/acts/news/62627> (дата обращения: 08.10.2025).
2. Акарачкова, Е. С. Стресс у детей: как активировать адаптационные резервы у ребёнка / Е. С. Акарачкова, Д. В. Блинов, О. В. Котова [и др.] // РМЖ. – 2018. – Т. 26, № 9. – С. 45–51.
3. Суплотова, Л. А. Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны / Л. А. Суплотова, В. А. Авдеева, Е. А. Пигарова, Л. Я. Рожинская, Е. А. Трошина // Проблемы эндокринологии. – 2021. – Т. 67, № 2. – С. 84–92.
4. Krvavica, M. Changes in proximate chemical and mineral compositions of different gender categories of mutton during the dry-curing process / M. Krvavica, J. Dugum, M. Drinovac Topalovic, A. Kegalj, I. Ljubicic, M. Konjatic // Animals. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – Article 3019.
5. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 [Электронный ресурс]. – Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021. – Официальный сайт Роспотребнадзора. – URL: https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979 (дата обращения: 10.10.2025).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» : сайт Правительства РФ [Электронный ресурс]. – URL: <https://government.ru/docs/3360/> (дата обращения: 08.10.2025).

7. BusinesStat. Анализ рынка снеков в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг.: отчёт [Электронный ресурс]. – М.: BusinesStat, 2025. – Режим доступа: https://businesstat.ru/images/demo/snacks_russia_demo_businesstat.pdf (дата обращения: 11.07.2025).

8. Мясные снеки: потребители стимулируют рост рынка / пер. с англ. А. Осинной [Электронный ресурс] // Мясной эксперт: независимый портал для специалистов мясной индустрии. – 10 февр. 2021. – URL: <https://meat-expert.ru/articles/431-myasnye-sneki-potrebiteli-stimuliruyut-rost-rynka> (дата обращения: 12.07.2025).

9. Хайруллин, М. Ф. Изучение существующих аналогов и создание модели перспективного биомясопродукта «Мясные снеки» / М. Ф. Хайруллин, А. О. Дуць. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2013. – № 1 (48). – С. 26-28.

10. Вздорнова, М. С. Пищевые продукты питания функциональной направленности и их назначение / М. С. Вздорнова, М. Д. Мукатова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 145–152.

11. Шишкина, Д. И. Научное обоснование производства мясных снеков функционального назначения / Д. И. Шишкина, Е. И. Шишкина, А. Ю. Соколов // Современные технологии. – 2018. – № 3. – С. 218–224.

12. Anumudu, C. K. Advances in the application of infrared in food processing for improved food quality and microbial inactivation / C. K. Anumudu, H. Onyeaka, C. T. Ekwueme, A. Hart, F. Isaac-Bamgboye, T. Miri // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 24. – P. 4001.

13. Волкова, О. В. Сыровяленые продукты из мяса кроликов / О. В. Волкова, К. С. Есенбаева // Зоотехния. – 2017. – С. 189–191.

14. Пат. 2470529 Российская Федерация, МПК А23L 1/31. Способ изготовления мясных снеков (варианты) / М. Ф. Хайруллин, М. Б. Ребезов, А. А. Лукин, О. В. Зинина, Н. Л. Наумова, М. Л. Лакеева, Н. Н. Максимюк, А. О. Дуць, Я. М. Ребезов. – № 2011128150/13 ; заявл. 07.07.2011 ; опубл. 27.12.2012. – Бюл. № 36.

15. Пат. 2685942 Российская Федерация, МПК А23L 13/55, А23L 13/70, А23В 4/03. Способ производства сыровяленого цельномышечного продукта из мяса птицы с добавлением пчелиной перги / М. А. Сухов, Т. Ю. Левина, Т. М. Гиро. – № 2018139536; заявл. 09.11.2018; опубл. 23.04.2019. – Бюл. № 12.

16. Пат. 2814819 С1 Российская Федерация, МПК А23L 13/50. Способ производства чипсов из мяса птицы / В. В. Востриков, А. А. Нестеренко, Н. В. Кенийз, Е. П. Ищенко. – № 2023106928; заявл. 22.03.2023; опубл. 05.03.2024. – Бюл. № 7.

17. Пат. КНР CN 106604649 А, МПК А23L 13/10, 13/40, 13/60. Способ получения хрустящих мясных ломтиков / Ай Розалес J. А., Де Ла Торре J. А., Мэттесон Т. R.; заявитель и патентообладатель Kraft Foods Global Brands LL. – № 201580046995.8; заявл. 24.09.2015 (приоритет US 62/054,708 от 24.09.2014); опубл. 26.04.2017.

18. Милеенкова, Е. В. Снеки – ретроспектива и современность / Е. В. Милеенкова, В. В. Насонова, В. А. Бдоян. – Всё о мясе. – 2021. – № 1. – С. 6–10.

19. Li, X. The effect of *Lactiplantibacillus plantarum* x3-2b bacterial powder on the physicochemical quality and biogenic amines of fermented lamb jerky / X. Li, G. Hu, X. Sun, L. Zhang, Y. Zhao // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 22. – Article 4147.

20. Liu, J. The impact of different fermenting microbes on residual purine content in fermented lamb jerky following in vitro digestion / J. Liu, X. Sun, Y. Zhang, Y. Jin, L. Sun, X. Chai, D. Wang, L. Su, L. Zhao // *Food Chemistry*. – 2023. – Vol. 405, Part B. – Article 134997.

21. Wen, R. Characterisation of flavour profile of beef jerky inoculated with different autochthonous lactic acid bacteria using electronic nose and gas chromatography–ion mobility spectrometry / R. Wen, B. Kong, X. Yin, H. Zhang, Q. Chen // *Meat Science*. – 2022. – Vol. 183. – Article 108658.

22. Hu, Y. Combination of ultrasound treatment and starter culture for improving the quality of beef jerky / Y. Hu, Z. Dong, R. Wen, B. Kong, W. Yu, J. Wang, H. Liu, Q. Chen // *Meat Science*. – 2023. – Vol. 204. – Article 109240.

23. Guo, H. Compound probiotics starter: A solution for aflatoxin B₁ reduction and meat quality improvement in fermented chicken jerky / H. Guo, J. Chen, H. Qiu, W. Yang, G. Li, X. Ma, J. Liu, Q. Yin, Q. Zhu // *Food Control*. – 2024. – Vol. 165. – Article 110601.

24. Sun, X. Effect of Biogenic Amine-Degrading *Lactobacillus* on the Biogenic Amines and Quality in Fermented Lamb Jerky / X. Sun, E. Sun, L. Sun, L. Su, Y. Jin, L. Ren, L. Zhao // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, No. 14. – Article 2057.

25. Давлетова, А. М. Рост и развитие молодняка овец эдильбаевской породы / А. М. Давлетова, Б. Б. Траисов, Д. Б. Смагулов, Ю. А. Юлдашбаев, В. И. Косилов // *Известия ОГАУ*. – 2018. – № 6 (74). – С. 251–256.

26. Скурихин, И. М. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян (ред.). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

27. FoodData Central [Электронный ресурс] / U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. – Режим доступа: URL: <https://fdc.nal.usda.gov>.

28. Куликовский А. В. Пищевая ценность баранины от овец различных сроков производства, выращенных в условиях Левобережья Саратовской области / А. В. Куликовский, А. В. Молчанов, В. П. Лушников, В. В. Светлов, А. Н. Козин, Т. М. Гиро // *Всё о мясе*. – 2019. – № 6. – С. 56–60.

29. Молчанов, А. В. Качественные показатели баранины в зависимости от тонины шерсти / А. В. Молчанов, А. Н. Козин // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2017. – № 2. – С. 24–25.

30. Сазонова, И. А. Биологическая ценность мяса баранчиков эдильбаевской породы, выращиваемых в условиях двух природно-климатических зон Поволжья / И. А. Сазонова // *Проблемы биологии продуктивных животных*. – 2016. – № 1. – С. 76–83.

31. Ковальчук, С. Н. Жирнокислотный состав мышечной ткани овец: фенотипическая вариабельность, наследуемость, гены-кандидаты [Электронный ресурс] / С. Н. Ковальчук // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1049–1062.

32. Муратова, В. В. Мясная продуктивность и оценка качества мяса молодняка овец эдильбаевской породы разных весовых категорий: дис. ... канд. биол. наук / В. В. Муратова. – Саратов, Саратовский гос. аграрный ун-т им. Н. И. Вавилова, 2020. – 115 с.

33. Коденцова, В. М. Соединения железа для обогащения пищевых продуктов: сравнительный анализ эффективности / В. М. Коденцова, Д. В. Рисник, В. В. Бессонов // Микроэлементы в медицине. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 10–19.

34. Гиро, Т. М. Нутриентная адекватность и безопасность функциональной баранины, прижизненно обогащенной микроэлементами / Т. М. Гиро, А. В. Молчанов, А. Н. Козин, С. В. Андреева, А. В. Гиро // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 3. – С. 60–62.

35. Гиро, Т. М., Прижизненное обогащение баранины эссенциальными микроэлементами с целью её использования в технологии функциональных продуктов / Т. М. Гиро [и др.] // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3. – № 3. – С. 74–88.

36. Bai, X. Different dietary sources of selenium alter meat quality, shelf life, selenium deposition, and antioxidant status in Hu lambs / X. Bai, F. Li, F. Li, L. Guo // Meat Science. – 2022. – Vol. 194.

37. Juniper, D. T. Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs / D. T. Juniper, R. H. Phipps, E. Ramos-Morales, G. Bertin // Animal Feed Science and Technology. – 2009. – Vol. 149. – P. 228–239.

38. Yue, T. The Role of Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, and Postbiotics in Livestock and Poultry Gut Health: A Review / T. Yue, Y. Lu, W. Ding, B. Xu, C. Zhang, L. Li, F. Jian, S. Huang // Metabolites. – 2025. – Vol. 15, No. 7. – P. 478.

39. Global Probiotics Market – Industry [Электронный ресурс] / Mordor Intelligence. – 2024. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-probiotics-market-industry> (дата обращения: 15.01.2025).

40. Y. Peterlabs. CHR Hansen Bioplus YC [Электронный ресурс] // Peterlabs Malaysia. – Режим доступа: <https://peterlabs.com.my/product/chr-hansen-bioplus-yc/> (дата обращения: 18.01.2025).

41. PBS Animal Health. Bio-Mos Water-Soluble for Calves [Электронный ресурс] // PBS Animal Health. – Режим доступа: <https://www.pbsanimalhealth.com/bio-mos-water-soluble-for-calves/p/17221/?v=2> (дата обращения: 18.01.2025).

42. Pharmaceutical Associates, Inc. Lactulose Solution [Электронный ресурс] // Mountainside Medical. – Режим доступа: <https://www.mountainside-medical.com/products/lactulose-solution-10g-15ml-16oz-bottle> (дата обращения: 22.06.2025).

43. Рябцева, С. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева, А. Г. Храмцов, Р. О. Будкевич, Г. С. Анисимов, А. О. Чукло, М. А. Шпак // Вопросы питания. – 2020. – № 2. – С. 5–20.

44. Пребиотик на основе лактулозы разработали учёные СКФУ [Электронный ресурс] // Арктический филиал СКФУ. – Режим доступа: URL: <https://ncfu.ru/novosti/nauka/prebiotik-na-osnove-laktulozy-razrabotali-uchenye-skfu/> (дата обращения: 22.06.2025).

45. Ветелакт: кормовая добавка для нормализации микрофлоры кишечника и оптимизации пищеварения у животных [Электронный ресурс] // VetTorg. Режим доступа: <https://vettorg.ru/catalog/item-1995.html> (дата обращения: 22.06.2025).

46. Тетрабиотик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://fermentpark.com/about/technopark/hypermarket/probiotics/tetrabiotic/> (дата обращения: 18.01.2025).

47. Наставление по применению бифидогенной кормовой добавки «Лактувет-1» в рационах сельскохозяйственных животных и птицы (для широкой производственной апробации) [Электронный ресурс] / ФГБНУ Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, ВНИИОК.- 2021. – 2 с.- URL:

mokostav.com/Lactuvet/Наставление%20Поволжский%20НИИ.pdf. (дата обращения: 15.11.2025).

48. Бордин, Д. С. Лактулоза: преимущества и место препарата в клинических рекомендациях / Д. С. Бордин, Л. Х. Индейкина, Е. В. Винницкая и др. // Эффективная фармакотерапия. – 2023. – Т. 19, № 35. – С. 42–49.

49. Beunen, A. C. Dietary lactulose decreases apparent nitrogen absorption and increases apparent calcium and magnesium absorption in healthy dogs / A. C. Beunen, H. J. Kappert, S. Yu // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2001. – Vol. 85, No. 3–4. – P. 67–72.

50. Karakan, T. Low-dose lactulose as a prebiotic for improved gut health and enhanced mineral absorption [Электронный ресурс] / T. Karakan, K. M. Tuohy, G. Janssen-van Solingen // Frontiers of Nutrition. – 2021. – Vol. 8. – Article 672925. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.672925> (дата обращения: 11.11.2025).

51. ГОСТ Р 51574–2018. Соль пищевая. Общие технические условия. – Введ. 2018-09-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 11 с.

52. ГОСТ Р 58434–2019. Соусы соевые. Общие технические условия. – Введ. 2020-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

53. ГОСТ Р 58859–2020. Смеси нитритно-посолочные для мясной продукции. Технические условия. – Введ. 2021-01-01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 11 с.

54. ГОСТ 33222–2015. Сахар белый. Технические условия. – Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.

55. ГОСТ 29050–91. Пряности. Перец чёрный и белый. Технические условия. – Введ. 1993-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 6 с.

56. ГОСТ 4815–76. Кислота аскорбиновая пищевая. Технические условия. – Введ. 1977-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 14 с.

57. ГОСТ 25955–83. Животные племенные сельскохозяйственные. Методы определения продуктивности овец. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.

58. ГОСТ Р 51447-99. Мясо и мясные продукты. Методы отбора проб / утв. и введ. в действие постановлением Госстандарта России № 602-ст от 22.12.1999; переизд. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 18 с

59. ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. - М.: Стандартинформ, 2016. - 23 с.

60. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. - М.: Стандартинформ, 2018. - 16 с.

61. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира - М.: Стандартинформ, 2015. - 12 с.

62. ГОСТ 31727-2012. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. - Введ. 2013-07-01. - М.: Стандартинформ, 2013. - 12 с.

63. ГОСТ 26934-86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения цинка. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 10 с.

64. ГОСТ 26928-86. Продукты пищевые. Метод определения железа. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 10 с.

65. ГОСТ Р 55573-2013. Мясо и мясные продукты. Определение кальция атомно-абсорбционным и титриметрическим методами. - М.: Стандартинформ, 2014. - 12 с.

66. ГОСТ 33424-2015. Мясо и мясные продукты. Определение магния методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. М.: Стандартинформ, 2019.- 12 с.

67. ГОСТ Р 55484-2013. Мясо и мясные продукты. Определение содержания натрия, калия, магния и марганца методом пламенной атомной абсорбции. - М.: Стандартинформ, 2014. - 11 с.

68. ГОСТ 32009-2013. Мясо и мясные продукты. Спектрофотометрический метод определения массовой доли общего фосфора. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 13 с.

69. ГОСТ 55482-2013. Мясо и мясные продукты. Метод определения содержания водорастворимых витаминов. - М.: Стандартинформ, 2014. - 12 с.

70. Журавская, Н.К. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов: Учебник / Н.К. Журавская, Л.Т. Алехина, Л.М. Отряшенкова. - М.: Агропромиздат, 1985. - 296 с.

71. ГОСТ 51478-99. Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (рН). - М.: Стандартиформ, 2018. - 7 с.

72. ГОСТ 31479-2012. Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава. - М.: Стандартиформ, 2019. - 11 с.

73. ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – Переизд. (март 2010 г.). – М.: Стандартиформ, 2010. – 32 с.

74. ГОСТ Р 51766-2001. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. – Издание официальное. – М.: Стандартиформ, 2011. – 12 с.

75. ГОСТ 31746-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus* (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003). – Издание официальное. – М.: Стандартиформ, 2013. – 28 с.

76. ГОСТ 29185-2014 (ISO 15213:2003) Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях. - М.: Стандартиформ, 2015 - 25 с.

77. ГОСТ 31659-2012 (ИСО 6579:2002). Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella* - Введ. 2013-07-01- М.: Стандартиформ, 2014 - 25 с.

78. ГОСТ 30726-2001. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli*. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 - 8 с.

79. ГОСТ 10444.15–94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Введ. 1996-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 7 с.

80. ГОСТ 31747–2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.

81. ГОСТ 34987-2023. Мясо и мясные продукты. Методы определения жирнокислотного состава. М.: Стандартинформ, 2023. 18 с.

82. ГОСТ Р 55480-2013. Мясо и мясные продукты. Метод определения кислотного числа. – М: Стандартинформ, 2018. - 8 с.

83. ГОСТ 34118-2017. Мясо и мясные продукты. Метод определения перекисного числа. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 12 с.

84. Горбанов, И. А. Влияние специализированной кормовой добавки на формирование мясных характеристик баранины и оценка её потенциала в производстве обогащённых пищевых продуктов / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Биотехнология: взгляд в будущее : материалы XI междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 2025). – Ставрополь : Изд-во СтГМУ, 2025. – Ч. I. – С. 248.

85. Shoukry, M. M. Improving the productive performance of growing lambs using prebiotic and probiotic as growth promoters / M. M. Shoukry, Y. A. A. E. El-Nomeary, F. M. Salman, W. M. E. Shakweer // Tropical Animal Health and Production. – 2023. – Vol. 55, No. 6. – P. 375.

86. Олесюк, А. П. Мышечный глазок [Электронный ресурс] / А. П. Олесюк // Большая российская энциклопедия : научно-образовательный портал. – Опубликовано 18.05.2023; обновлено 18.05.2023. – Режим доступа: URL: <https://bigenc.ru/c/myshechnyi-glazok-b886bb> (дата обращения: 25.10.2025).

87. Гиро Т. М. Продуктивные качества и иммунобиологический статус баранчиков при использовании бифидогенной кормовой добавки «Лактувет-1» в рационе / Т. М. Гиро, И. А. Горбанов, В. В. Светлов, А. В. Кудинов, М. И. Сложенкина // Инновационные подходы к развитию устойчивых аграрно-пищевых систем: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 2022). – Волгоград: [б. и.], 2022. – С. 308–311.

88. Lawrie's Meat Science / ed. by F. Toldra. – 8th ed. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. – 730 p. – ISBN 978-0-08-100694-8.

89. Гиро, Т. М. Оптимизация производства мелкого рогатого скота, выращиваемого с использованием в рационе бифидогенной добавки / Т. М. Гиро, И. А. Горбанов, Х. И. Саидмуродов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2025. – № 3. – С. 27–32.

90. Ertbjerg P., Puolanne E. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review // Meat Science. – 2017. – Vol. 132. – P. 139–152.

91. Лисицын, А. Б. Химический состав мяса: справочные таблицы общего химического, аминокислотного, жирнокислотного, витаминного, макро- и микроэлементного составов и пищевой (энергетической и биологической) ценности мяса / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, Т. Г. Кузнецова, О. Н. Орлова, В. С. Мкртчян. – М.: ВНИИМП, 2011. – 104 с.

92. Патиева, С. В. Современные методы контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции: методические указания к выполнению лабораторных работ [Электронный ресурс] / С. В. Патиева, А. М. Патиева. - Краснодар: КубГАУ, 2020. - 76 с.

93. Allende, A. Scientific opinion on growth of spoilage bacteria during storage and transport of meat / A. Allende, D. Bolton, M. Chemaly [et al.] // EFSA Journal. – 2016. – Vol. 14, No. 6. – Article 4523. – 38 p.

94. Szmanko, T. The water-holding capacity of meat: A reference analytical method / T. Szmanko, T. Lesiow, J. Gorecka // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 357. – Article 129727.

95. Saha, S. Recent Advances in the Use of Probiotics to Improve Meat Quality of Small Ruminants: A Review / S. Saha, K. Fukuyama, M. Debnath, F. Namai, K. Nishiyama, H. Kitazawa // Microorganisms. 2023.

96. Горбанов, И. А. Анализ макроэлементного профиля мясных снеков из прижизненно обогащённой баранины / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2025. – № 1. – С. 59–63.

97. Даминов, Ф. А. Биологическая роль кальция в организме человека / Ф.А. Даминов, Ф.С. Набиева, О.Ш. Очилов // ReFocus. – 2023. – Т. 2. – № 7. – С. 56-58.

98. Phosphate homeostasis and its role in bone health // *Pediatric Nephrology*. – 2017. – Vol. 32, № 10. – P. 1999.

99. Office of Dietary Supplements. Phosphorus – Health Professional Fact Sheet [Электронный ресурс] // National Institutes of Health, U.S. Department of Health & Human Services. – 2023. – Режим доступа: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-HealthProfessional/> (дата обращения: 04.03.2025).

100. Office of Dietary Supplements (U.S.) [Электронный ресурс] Magnesium – Consumer. – Режим доступа: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-Consumer/> (дата обращения: 14.04.2025).

101. Office of Dietary Supplements. Magnesium – Health Professional Fact Sheet [Электронный ресурс] // National Institutes of Health, U.S. Department of Health & Human Services. – 2022. – Режим доступа: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-HealthProfessional/> (дата обращения: 14.04.2025)

102. Елисеева, Т. Калий (К, potassium) – описание, влияние на организм, лучшие источники / Т. Елисеева, А. Мироненко // *Журнал здорового питания и диетологии*. – 2020. – Т. 3, № 13. – С. 59–70.

103. Potassium – Health Professional Fact Sheet [Электронный ресурс] // National Institutes of Health, U.S. Department of Health & Human Services. – 2022. – Режим доступа: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-HealthProfessional/> (дата обращения: 04.07.2025).

104. Overview of sodium's role in the body [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.merckmanuals.com/home/hormonal-and-metabolic-disorders/electrolyte-balance/overview-of-sodium-s-role-in-the-body> (дата обращения: 14.04.2025).

105. Sodium [Электронный ресурс] // U.S. National Library of Medicine. – 2023. – Режим доступа: <https://medlineplus.gov/sodium.html> (дата обращения: 14.04.2025).

106. Lamb ribs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://foodstruct.com/food/lamb-ribs> (дата обращения: 20.04.2025).

107. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». – 2011. – 164 с.

108. ТР ТС 034/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции». – 2013. – 108 с.

109. Jomova, K. Heavy metals and their toxicity mechanisms: recent insights [Электронный ресурс] / K. Jomova, M. Valko // Archives of Toxicology. – 2025. – Т. 99, № 3. – С. 657–678. – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-024-03903-2> (дата обращения: 04.05.2025).

110. Созинова, И. В. Оценка содержания тяжелых металлов в мышечной ткани овец мясного направления продуктивности / И. В. Созинова, Е. С. Малышева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10 (132). – С. 63–65.

111. Гиро, Т. М. Оценка экологической безопасности баранины от животных, выращенных с использованием в рационе бифидогенной добавки / Т. М. Гиро, И. А. Горбанов, М. Х. Хакимова, Ж. Ж. Аллаяров, Х. Саидмуродов // Материалы международной научно-практической конференции «Turli tuproq-iqlim sharoitida organik qishloq xojaligi mahsulotlari yetishtirishda innovatsion texnologiyalarni qo'llashning dolzarbligi» (11–12 июня 2024 г., г. Карши). – Qarshi davlat universiteti, 2024. – С. 18–21.

112. Гиро, Т. М. Лабораторная оценка влияния кормовой добавки «Лактувет-1» на безопасность мясного сырья баранины для производства пищевой продукции / Т. М. Гиро, И. А. Горбанов // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов XIII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово, 2025. – С. 243–245.

113. Balali-Mood, M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic [Электронный ресурс] / M. Balali-Mood, K. Naseri, Z. Tahergorabi, M. R. Khazdair, M. Sadeghi // Frontiers in Pharmacology. – 2021. – Т. 12.

114. Забашта, Н. Н. Мониторинг токсичных элементов в объектах окружающей среды – требование при производстве органического мясного сырья / Н. Н. Забашта, Е. Н. Головки // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 177-182.

115. Kumar, A. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and the Environment [Электронный ресурс] / A. Kumar, J. Xiong, Y. Yao // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Т. 17, № 7. 2179.

116. Tahir, M. W. Heavy metal exposure through animal feed and associated health risks [Электронный ресурс] / M. W. Tahir, Z. Ahmed, R. N. Malik // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10090567/> (дата обращения: 04.08.2025).

117. Лыжина, А. В. Риск здоровью населения при воздействии тяжёлых металлов, загрязняющих продовольственное сырьё и пищевые продукты / А. В. Лыжина, Т. Н. Унгурияну, А. В. Родиманов // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 7 (304). – С. 4–7.

118. Кудряшов, Л. С. Современные представления о тендеризации мяса в ходе автолиза / Л. С. Кудряшов, О. А. Кудряшова // Всё о мясе. – 2024. – № 4. – С. 34–38.

119. ТУ 9213-008-51403449-2006. Продукты мясные: чипсы мясные, чипсы колбасные: Технические условия. – Введ. 20.08.2007. – Электрон. дан. – Доступ из справ.-правовой системы: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/415911750> (дата обращения: 27.10.2025).

120. Гиро, Т. М. Технология производства мясных снеков из баранины / Т. М. Гиро, И. А. Горбанов // Известия НВ АУК. – 2025. – Т. 2, № 80. – С. 486–494.

121. Kong, L. Evaluating the colour formation and oxidation effect of *Leuconostoc mesenteroides* subsp. combining with ascorbic acid in fermented sausages / L. Kong, J. Deng, K. Cai, Y. Wu, J. Ge, B. Xu // Food Bioscience. – 2023. – Vol. 52. – Art. 102478.

122. ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки». – 2011. – 21 с.

123. Шкляр, С. И. Понятие маркировки пищевой продукции и требования к ней по законодательству Российской Федерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. 2012. № 2. С. 38–47.

124. Фатьянов, Е. В. Исследование изменений физико-химических показателей при производстве мясных снеков / Е. В. Фатьянов, Ч. К. Авылов, А. К. Алейников и др. // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 10. – С. 116–120.

125. Царегородцева, Е. В. Влияние способа и интенсивности посола на свойства мышечных белков к гидратации / Царегородцева Е. В., Савинкова Е. А. // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10, № 1. С. 79–85.

126. Глухих, В. В. Математическое планирование экспериментов и анализ их результатов с применением компьютерных программ : учебное пособие / В. В. Глухих, А. Е. Шкуро, А. В. Артемов [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. – 104 с.

127. Weglarz, A. Slaughter value and meat quality in two strains of Polish crested cockerels / A. Weglarz, K. Andres, D. Wojtysiak // Italian Journal of Animal Science. – 2020. – Vol. 19, № 1. – P. 813–821.

128. Мисунов, С. Н. Применение нитритной соли в технологии мясных продуктов [Электронный ресурс] / С. Н. Мисунов, А. М. Лагутин // Вестник науки. – 2021. – Т. 1, № 2 (35). – С. 179–182.

129. ПРЕСТОСТАРТ® FB-CA3 : стартовые культуры для сырокопчёных и сыровяленых колбас [Электронный ресурс] // Офиц. сайт компании «MOGUNTIA-INTERRUS». – 2025. – URL: <https://moguntia.ru/catalog/myasnoe-proizvodstvo/khalyal-ingredienty-bez-indeksa-e/ingredienty-bez-indeksa-e/prestostart-fb-sa3/> (дата обращения: 13.11.2025).

130. Nieto-Lozano, J. C. The effect of the pediocin PA-1 produced by *Pediococcus acidilactici* against *Listeria monocytogenes* and *Clostridium perfringens* in Spanish dry-fermented sausages and frankfurters / J. C. Nieto-Lozano, J. I. Reguera-Useros, M. D. C.

Pelaez-Martinez, G. Sacristan-Perez-Minayo, A. J. Gutierrez-Fernandez, A. H. de la Torre // Food Control. – 2010. – Vol. 21, № 5. – P. 679–685.

131. Мокрецов, И. В. Разработка серии ферментированных цельномышечных мясных снеков на основе оценки физико-химических показателей / И. В. Мокрецов, Т. Ю. Левина, С. Н. Чалап // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2023. – № 2 (28). – С. 39–45.

132. Активность воды и мясные снеки [Электронный ресурс] / Главный технолог // Технология мяса : независимый портал для специалистов мясной индустрии. – 2013. – Режим доступа: URL: <https://meat-expert.ru/forums/files/file/10-активность-воды-и-мясные-снеки/> (дата обращения: 27.11.2025).

133. U.S. Department of Agriculture. Food Safety and Inspection Service. Compliance Guideline for Meat and Poultry Jerky [Электрон. ресурс]. – Washington, DC, 2014. – Режим доступа: <https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/import/Compliance-Guideline-Jerky-2014.pdf> (дата обращения: 03.07.2025).

134. Гамаюрова, В. С. Пищевая химия: учебник для студентов вузов: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения [Электронный ресурс] / В. С. Гамаюрова, Л. Э. Ржечицкая. – М.: КДУ, Добросвет, 2018. – ISBN 978-5-7913-1042-2.

135. USDA Table of Nutrient Retention Factors, Release 6 / Nutrient Data Laboratory, Beltsville Human Nutrition Research Center, Agricultural Research Service. – 2007. – P. 18.

136. How cooking affects the nutrient content of foods [Электронный ресурс] / R. Link // Healthline. – 2019. – Режим доступа: <https://www.healthline.com/nutrition/cooking-nutrient-content> (дата обращения: 24.05.2025).

137. Onyeka, U. E. Loss of food nutrients orchestrated by cooking pots: a common trend in developing world / U. E. Onyeka, O. N. Ibeawuchi // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58, iss. 8. – P. 2906–2913.

138. Goran, G. V. Comparative study of mineral composition of beef steak and pork chops depending on the thermal preparation method / G. V. Goran, L. Tudoreanu, E. Rotaru, V. Crivineanu // *Meat Science*. – 2016. – Vol. 118. – P. 117–121.

139. Ребезов, М. Б. Установление сроков хранения мясных сэндвичей / М. Б. Ребезов, М. Ф. Хайруллин, О. В. Зинина, А. О. Дуць, А. А. Соловьева, А. А. Солнцева, Е. Я. Варганова, М. О. Аксенова // *Научный журнал КубГАУ*. – 2012. – № 77.

140. Myers, R. H. Response surface methodology. Process and product optimization using designed experiments / R. H. Myers, D. C. Montgomery, C. M. Anderson-Cook. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. – 857 p.

141. Alvarez, Sara, et al. Drying dynamics of meat highlighting areas of relevance to dry-aging of beef. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, no. 6, 2021, pp. 5370–5392.

142. Mewa, E. A. Drying Modelling, Moisture Diffusivity and Sensory Quality of Thin Layer Dried Beef / E. A. Mewa, M. W. Okoth, C. N. Kunyanga, M. N. Rugiri // *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. – 2018. – Т. 6, № 2. – P. 552–565.

143. Иванов, И. В. Исследование вакуум-инфракрасной сушки чипсов из мяса птицы / И. В. Иванов, Г. В. Гуринович // *Техника и технология пищевых производств*. – 2013. – № 3(30). – С. 22–26.

144. Литвишков, Ю. Н. О физическом смысле параметров уравнения Аррениуса // *Kimya Problemleri*. – 2019. – № 3. – С. 456–464.

145. Muga, F. C. Modelling the Thin-Layer Drying Kinetics of Marinated Beef during Infrared-Assisted Hot Air Processing of Biltong [Электронный ресурс] / F. C. Muga, M. O. Marenya, T. S. Workneh // *International Journal of Food Science*. – 2021. – Vol. 2021.

146. Bourne, M. C. Food texture and viscosity: concept and measurement / M. C. Bourne. – 2nd ed. – San Diego: Academic Press, 2002. – 427 p.

147. Brookfield Engineering Laboratories, Inc. CT3 Texture Analyzer: Operating Instructions Manual / Brookfield Engineering Laboratories, Inc. – Middleboro, MA, 2008. – 47 p.

148. Thiagarajan, I. V. Combined Microwave - Convection Drying and Textural Characteristics of Beef Jerky : master's thesis / I. V. Thiagarajan ; University of Saskatchewan, Department of Agricultural and Bioresource Engineering. – Saskatoon, 2008. – 180 p. – URL: https://central.bac-lac.canada.ca/.item?id=TC-SSU-10102008150255&op=pdf&app=Library&oclc_number=1032933164 (дата обращения: 19.07.2025).

149. Acid Value of Extracted Oil from Meat [Электронный ресурс] / Kyoto Electronics Manufacturing Co., Ltd. – Kyoto, – Режим доступа: <https://appsearch.kyoto-kem.com/pdfdl?mode=edit&id=937> (дата обращения: 04.07.2025).

150. Gorbanov, I. The effect of diets enriched with Lactuvet-1 feed additive on the productivity of rams and the quality of meat / I. Gorbanov, T. M. Giro // Студенческий вестник. – 2023. – № 13–8 (252). – С. 37–38.

151. Acid Value and the Quality of Fats and Oils [Электронный ресурс] // Chemistry LibreTexts. – Режим доступа: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/ChemPRIME_\(Moore_et_al\)/14:_Ionic_Equilibria_in_Aqueous_Solutions/14.10:_Titration_Curves/14.10.01:_Foods-_Acid_Value_and_the_Quality_of_Fats_and_Oils](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/ChemPRIME_(Moore_et_al)/14:_Ionic_Equilibria_in_Aqueous_Solutions/14.10:_Titration_Curves/14.10.01:_Foods-_Acid_Value_and_the_Quality_of_Fats_and_Oils) (дата обращения: 30.05.2025).

152. Шингисов, А. У. Исследование влияния методов упаковки на качество и безопасность продуктов питания / А. У. Шингисов, З. Т. Норкулова // Universum: технические науки. – 2024. – Т. 6, № 4 (121). – С. 73–75.

153. Горбанов, И. А. Оценка безопасности баранины для производства мясных снеков после применения кормовой добавки «ЛактуВет-1» / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Вестник ВГУИТ. – 2025. – Т. 87, № 1. – С. 76–82.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова»

ОКПД 2: 10.13.13.112

Группа Н 11
(ОКС 67.120.10)

СОГЛАСОВАНО
Начальник комплекса
УНИК «Пищевик»
Моисеева И.Е.
« 13 » Июня 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО
Вавиловский университет
Соловьев Д.А.
« 18 » Июня 2025


МЯСНЫЕ СНЕКИ ИЗ БАРАНИНЫ

СТО 00493497-083-2025

(Вводится впервые)

Дата введения в действие – 26.12.25

РАЗРАБОТАНО
ФГБОУ ВО
Вавиловский университет
Кафедра «ТП и ППЖ»
Профессор, д.т.н.
Гиро Т.М.
Аспирант
Горбанов И.А.

Саратов 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова»

ОКПД 2: 10.13.13.112

(ОКС 67.120.10)

СОГЛАСОВАНО

Начальник комплекса

УПК «Титовик»
Моисеева Н.Е. *Моисеева*
«13» *Моисеева* 2025 г.


УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

Вавиловский университет
Соловьев Д.А. *Соловьев*
«13» *Соловьев* 2025 г.


ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ**По производству мясных снеков из баранины****ТИ к СТО 00493497-083-2025**Дата введения в действие с 19.03.25**РАЗРАБОТАНО**

ФГБОУ ВО

Вавиловский университет

Кафедра «ТП и ПТЖ»

Профессор, д.т.н.

Гиро Гиро Т.М.

Аспирант

Горбанов Горбанов И.А.

Саратов 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова»

ОКПД 2: 10.13.13.112

(ОКС 67.120.10)

СОГЛАСОВАНО

Начальник комплекса
УНИК «Пищевик»
Моисеева И.В. 
« 14 марта 2025 г. »


УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО
Вавиловский университет
Соловьев Д.А. 
« 14 марта 2025 г. »

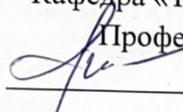

РЕЦЕПТУРА

По производству мясных снеков из баранины

РЦ к СТО 00493497-083-2025

Дата введения в действие с 14.03.25

РАЗРАБОТАНО

ФГБОУ ВО
Вавиловский университет
Кафедра «ТП и ППЖ»
Профессор, д.т.н.
 Гиро Т.М.
Аспирант
 Горбанов И.А.

Саратов 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и ин-
женерии имени Н.И. Вавилова»**

СОГЛАСОВАНО

Научный сотрудник

УИФ «Пищевик»

М.П. Семенов Н.Е.

«*Ларина*» 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

Вавиловский университет

С.П. *Ларина*

«*Ларина*» 2025 г.



АКТ

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ВНЕДРЕНИЕ
технологии мясных снеков из баранины**

13.03 2025 г. апробатором аспирантом 4-го года обучения профиля подготовки 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии» в присутствии представителя учебно-научно-производственного комплекса «Пищевик» на базе ФГБОУ ВО Вавиловского университета и представителя кафедры «Технологии производства и переработки продукции животноводства», профессора д.т.н. Т.М. Гиро, были проведены испытания по апробированию технологии мясных снеков из баранины, в производственных условиях.

Исследования проводились относительно контроля, выработанного по технологии ТУ 10.13.14-048-35559904-2016.

Предложенный аспирантом способ осуществляют по следующей технологии (см. Рис.1). С туш баранчиков удаляются поверхностные загрязнения, остатки шерсти, кровь и лишний жир путем тщательного промывания снаружи и изнутри проточной водой. Далее следует выдерживание туш в подвешенном состоянии в течение 15 минут для удаления излишков влаги. Обвалка осуществляется с помо-

Согласно полученным данным микробиологические показатели качества не превышают нормы по ТР/ТС 021/2011 и СанПин 2.3.2.1078, п.1.1.14.3.

Представленные мясные снеки могут быть использованы широким кругом потребителей, включая людей с активным образом жизни, спортсменов, путешественников, а также занятых людей, для которых удобен быстрый и питательный перекус. Такие снеки полезны в диетическом питании для людей, нуждающихся в высокобелковых продуктах с низким содержанием углеводов.

Заключение по результатам апробации

Комиссия считает целесообразным выработку мясных снеков из баранины по разрабатываемой технологии в опытно-промышленных условиях, что позволяет получить изделия высокой пищевой ценности с улучшенными показателями и открывает новые возможности по расширению ассортимента снековой продукции.

Результаты исследований внедрены в УНПК «Пищевик»: 410005, г. Саратов, ул. Соколова, 335.

Научный сотрудник УНПК
«Пищевик»

Представители кафедры «Технология
производства и переработки продукции
животноводства»

Профессор, д.т.н.

Аспирант



Н.Е. Моисеева

Т.М. Гиро

И.А. Горбанов

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной и инновационной работе
ФГБОУ ВО Вавиловский университет

Донисов В. В.

2025 г.



АКТ

производственной апробации результатов научного исследования

аспиранта Горбанова Ильи Алексеевича

по теме: «Совершенствование технологии мясных снеков из баранины с учётом прижизненного формирования макроэлементного состава сырья»

Мы, нижеподписавшиеся, главный специалист по проведению испытаний Горбунова В. М., и профессор кафедры «Технология производства и переработки продукции животноводства» д.т.н. Гиро Т.М., составили акт о том, что аспирантом Горбановым И.А. на базе стационара ветеринарной клиники Института ветеринарной медицины и фармации ФГБОУ ВО Вавиловский университет был проведён производственный опыт (апробация) применения бифидогенной кормовой добавки «ЛактуВет-1», используемой в технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани овец эдильбаевской породы. В результате исследования было установлено, что животные опытной группы по большинству показателей достоверно превосходили животных контрольной группы.

Абсолютный прирост живой массы за 90-дневный период опыта в опытной группе составил $13,28 \pm 0,38$ кг, что на 18,3 % выше контроля – $11,23 \pm 0,42$ кг ($P < 0,001$). Среднесуточный прирост достиг $147,6 \pm 4,2$ г/сут против $124,8 \pm 4,7$ г/сут в контрольной группе, увеличение составило около 18,2 % ($P < 0,001$).

По результатам оценки морфологических показателей мясной части туш у животных опытной группы установлено достоверное увеличение массы

мякоти до $18,05 \pm 0,16$ кг по сравнению с контролем $16,44 \pm 0,19$ кг, прирост 9,8 % ($P < 0,001$). При этом различия по массе внутреннего жира ($0,72 \pm 0,12$ кг против $0,64 \pm 0,13$ кг), массе курдюка ($3,30 \pm 0,20$ кг против $3,14 \pm 0,19$ кг) и массе костей ($3,00 \pm 0,32$ кг против $2,86 \pm 0,30$ кг) статистически значимыми не были ($P > 0,05$), что указывает на увеличение мясной компоненты без выраженного усиления жировых отложений. К семимесячному возрасту предубойная масса овец опытной группы составила $48,62 \pm 0,31$ кг и превышала контрольный показатель $46,44 \pm 0,35$ кг на 4,7 % ($P < 0,01$). Площадь «мышечного глазка» имела тенденцию к увеличению с $12,10 \pm 0,52$ до $13,30 \pm 0,55$ см², однако статистическая значимость для этого признака не подтверждена ($P > 0,05$).

На уровне химического состава баранины установлено снижение доли жира на 6,58 % ($P < 0,05$) при одновременном росте содержания белка на 1,55 % и золы на 14,29 %. Суммарное содержание аминокислот увеличилось на 1,8 %, в том числе триптофана – на 6,3 % и метионина – на 2,9 %. Наиболее выраженные эффекты отмечены по макроэлементам: в мышечной ткани опытной группы содержание кальция выросло на 55,1 % ($P < 0,001$), магния – на 40,0 % ($P < 0,01$), фосфора – на 27,3 % ($P < 0,01$), калия – на 12,9 % ($P < 0,05$).

Полученные данные позволяют сделать вывод о биологической эффективности добавки «ЛактуВет-1» и свидетельствуют о целесообразности её использования при формировании мясного сырья овец эдильбаевской породы, характеризующегося повышенными убойными показателями и более благоприятным химическим и минеральным составом баранины.

Главный специалист группы

по проведению испытаний

Д.т.н. профессор

Аспирант

Горбунова В. М

Гиро Т.М.

Горбанов И.А.





СЕРТИФИКАТ



участника XI Международной
научно-практической конференции
«БИОТЕХНОЛОГИЯ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ»

Горбанов Млья Алексеевич



Декан ФГМБО, профессор

Н.А. Федько

Россия, Ставрополь, СтГМУ – 27 марта 2025 г.

свидетельство

№ 00125-028
г. Москва
25 марта 2025 г.

Настоящим свидетельством удостоверяется участие

Горбанова Ильи Алексеевича

в XXX Международной научной конференции

**«ОБЩЕСТВО: НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ
(ИДЕИ, РЕСУРСЫ, РЕШЕНИЯ)»**,

которое может быть принято во внимание как факт апробации
основных результатов научного исследования автора.

тема: **«Разработка снеков из обогащённого мясного сырья баранчиков, получавших в рации
кормовую добавку «Лактувет-1»».**

Председатель оргкомитета конференции,
Главный редактор научного журнала «ОБЩЕСТВО»
д.п.н., член-корр. АПСН, член-корр. МАНПО

М.В. Волкова

