На правах рукописи

СИНИЧКИНА АЛЁНА ИГОРЕВНА

РАЗРАБОТКА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА МЯСА И СУБПРОДУКТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ УБОЕ СВИНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВОГО ОБЕЗДВИЖИВАНИЯ

Специальность 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

Специальность 05.02.23 – стандартизация и управление качеством продукции

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Семенова Анастасия Артуровна

доктор технических наук
Кузнецова Оксана Александровна

Официальные оппоненты: **Некрасов Роман Владимирович**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, доцент, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», отдел кормления сельскохозяйственных животных, заведующий отделом, главный научный сотрудник

Волошина Елена Сергеевна
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра «Управления качеством и товароведение продукции», доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»

Защита диссертации состоится 4 октября 2022 г. в _____ на заседании диссертационного совета Д 006.021.02 при ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу: 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН и на сайте www.vniimp.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник А.Н. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. За последние годы производство свинины стало одним из самых динамично развивающихся направлений в российском животноводстве. В течение прошедшего десятилетия объем производства свинины увеличился в 2,3 раза, и в настоящее время российский рынок на 100 % обеспечен свининой собственного производства. Ожидается рост потребления свинины на 1-2 % ежегодно в течение 2022-2026 гг. до достижения 30 кг в год на человека, что, предположительно, будет связано не только с увеличением потребления мяса в целом, но и с системным снижением цен на свинину вследствие перенасыщения рынка. В то же время прогнозируется дальнейшее активное развитие экспорта свинины, особенно в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, сильно пострадавшие от вспышек африканской чумы свиней. В этих условиях конкуренция между производителями, главным образом, в области качества выпускаемой продукции, будет усиливаться.

Большое значение для качества и безопасности мяса имеют процессы убоя и первичной переработки животных. Обездвиживание животных – одна из основных операций, которая является началом убоя, напрямую влияет на степень обескровливания туш и развитие автолитических процессов в мясе.

Согласно экспертным оценкам специалистов ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН около трети свиней в России по состоянию на 2022 год подвергаются убою с применением газового обездвиживания, в первую очередь, на крупных высокотехнологичных производствах. Эта технология является перспективной вследствие высокой производительности и меньшей трудозатратности. Однако предварительные исследования показали, что внедрение газового обездвиживания в некоторых случаях оборачивалось для российских производителей ухудшением качества мяса и других продуктов убоя. Не существовало системного подхода к проблемам газового обездвиживания, который бы учитывал все многообразие факторов, влияющих на его результат, таких, как особенности перерабатываемого поголовья, квалификацию сотрудников, непосредственно осуществляющих работу и обслуживание газовой установки, и многие другие.

Степень разработанности темы. Научными и практическими аспектами влияния предубойных факторов на качество продуктов убоя занимались отечественные и иностранные ученые: Смородинцев И.А., Крылова Н.Н., Беленький Н.Г., Жуленко В.Н., Мицык В.Е., Коледин И.Г., Массарыгин А., Большаков А.С., Татулов Ю.В., Миттельштейн Т.М., Welarde A., Hartung J. и др.; изучением газового обездвиживания: Любовский Г.А., Гурари Н.Г., Ивашина В.К., Grandin T., Channon A., Raj A.B.M., Atkinson S. и др. Методология анализа рисков основана на работах Чернухи И.М. и Кузнецовой О.А.

В проводимых ранее исследованиях в качестве потенциальных рисков при производстве продуктов убоя рассматривались исключительно опасные (микробиологические, токсикологические) факторы. При совершенствовании процессов убоя и первичной переработки использовались инструменты системы ХАССП. В то же время была отмечена актуальность практического применения риск-ориентированного подхода для организации мониторинга и контроля отдельных производственных процессов.

Отдельные этапы настоящей диссертационной работы выполнены в рамках:

– плана НИР ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН «Изучить влияние физиологического состояния свиней до начала обескровливания на качество свинины в полутушах и разработать систему критериев для оценки выбора параметров газового оглушения» (№ FNEN-2019-0005) к государственному заданию;

– гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Фундаментальные исследования перемещений патогенных микроорганизмов и вирусов в пищевых системах и создание инновационных средств их предотвращения с использованием антимикробных материалов и физических методов воздействий на биологические объекты» (Соглашение № 075-15-2020-775).

Цель и задачи исследований. Целью работы является разработка инструментов управления рисками, связанными с газовым обездвиживанием свиней.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

– изучить влияние параметров газовой смеси на состояние лабораторных животных;

– идентифицировать потенциальные риски процесса газового обездвиживания на основе мониторинга действующих предприятий;

– выявить последствия реализации риска для качества и безопасности продуктов убоя;

– определить источники риска и оценить их управляемость;

– изучить влияние ряда источников риска на реализацию риска и ее последствия;

– разработать инструменты управления риском и апробировать их;

– рассчитать экономическую эффективность внедрения предлагаемых инструментов управления риском.

Научная новизна. Исследованы физиологические реакции лабораторных животных на воздействие газовых смесей в зависимости от их состава и скорости подачи. Доказано, что воздействие углекислого газа, азота и аргона в концентрациях, используемых для обездвиживания, неизбежно вызывает у животных стрессовые реакции, но при использовании углекислого газа эти реакции и их последствия менее выражены.

Получены данные, отражающие уровень риска, связанного с прекращением сердечной деятельности, при применении газового обездвиживания свиней в мясной промышленности. Изучена вероятность отклонений в качестве и безопасности продуктов убоя (туш и субпродуктов) при прекращении сердечной деятельности до начала обескровливания. Проанализированы источники риска и предложены эффективные инструменты управления риском.

На основании выполненных исследований разработан новый метод мониторинга газового обездвиживания свиней на мясокомбинатах и предложен комплексный риск-ориентированный подход к обеспечению качества мяса и

субпродуктов, получаемых при убое свиней с использованием газового обездвиживания.

Теоретическая и практическая значимость работы. Доказаны положения, расширяющие представление о взаимосвязи физиологического состояния животного и его благополучия со стабильностью качества и безопасностью продуктов убоя. Показана эффективность риск-ориентированного подхода для решения задач по управлению отдельными технологическими процессами на примере обездвиживания животных. Изложенные в работе положения и доказательства наглядно продемонстрировали необходимость совершенствования изученного процесса для обеспечения конкурентоспособности российской свинины на внутреннем и внешнем рынках.

Разработаны методические рекомендации по управлению процессом газового обездвиживания свиней на основе анализа рисков, позволяющие предприятиям мясной промышленности идентифицировать риски процесса газового обездвиживания с учетом собственной специфики, оценить последствия их реализации и управлять ими для достижения высоких показателей качества продуктов убоя. Разработаны методические рекомендации по совершенствованию условий транспортирования и предубойной подготовки свиней.

Положения, выносимые на защиту:

1) Результаты мониторинга рисков, возникающих на предприятиях, использующих газовое обездвиживание при убое свиней.

2) Результаты исследований: а) данные о влиянии газовых смесей на показатели физиологического состояния лабораторных животных; б) данные о влиянии расстояния транспортирования и породного фактора на прижизненные и послеубойные показатели при газовом обездвиживании свиней.

3) Результаты анализа риска прекращения сердечной деятельности у свиней во время обездвиживания в газовой камере и мероприятия по управлению им.

4) Методические рекомендации по управлению процессом газового обездвиживания свиней на основе анализа рисков (МР 10-00419779-12); Методические рекомендации по совершенствованию условий транспортирования и предубойной подготовки свиней (МР 10-00419779-11).

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты выполненной работы и их достоверность подтверждаются корректным использованием теоретических и экспериментальных методов обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Использование современных средств и методик проведения исследований обеспечивает достоверность экспериментальных данных. Теоретические положения основаны на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, связанных с предметом исследования.

Промышленная апробация разработанного риск-ориентированного технологического подхода на АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» показала возможность увеличения доли нормально обездвиженных свиней до 100 %.

Результаты работы представлены на международных конференциях и конгрессах (2016-2022 гг.) в Москве, Ялте, Корке (Ирландия), Мельбурне (Австралия), работа отмечена дипломом РАН за лучшую научно-исследовательскую работу в рамках XI международной научно-практической конференции молодых ученых «Пищевые системы: теория, методология, практика» (Москва, 2017).

Соответствие диссертации паспортам научных специальностей. Диссертация соответствует пунктам 1, 5 паспорта специальности 05.18.04 – «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств» и пунктам 2, 3 паспорта специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 17 печатных работ, из них 8 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 – в журналах, входящих в базу данных РИНЦ, 6 – в материалах конференций.

Личный вклад соискателя. Все изложенные в диссертации результаты получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Постановка задач и интерпретация полученных результатов осуществлялись совместно с научными руководителями и другими соавторами публикаций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, схемы организации эксперимента с описанием объектов и

методов исследований, изложения полученных результатов и их обсуждения, выводов, списка использованной литературы и приложений.

Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, включает 40 таблиц, 40 рисунков и 6 приложений. Список литературы содержит 140 источников отечественных и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснованы актуальность, научная новизна практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Обзор источников литературы

Представлен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме исследования. Систематизированы законодательные требования к процессу газового обездвиживания свиней в России и других странах. Приведены обзор современного оборудования и результаты патентного поиска, иллюстрирующие тенденции развития процесса обездвиживания. Рассмотрены основные внутренние и внешние факторы, потенциально оказывающие влияние на состояние свиней перед убоем, эффективность газового обездвиживания и качество получаемой свинины.

Глава 2. Объекты, условия, организация и методы исследования

Определены объекты и условия проведения исследований, представлена общая структура работы в виде схемы (рис. 1).

Теоретические и экспериментальные исследования проведены в условиях отдела научно-прикладных и технологических разработок, экспериментальной клиники-лаборатории БАВ животного происхождения, лаборатории гигиены производства и микробиологии, лаборатории «Научно-методические работы, биологические и аналитические исследования» ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН; ГАУ ТО «Ишимский межрайонный центр ветеринарии», промышленных предприятий Белгородской, Липецкой, Тюменской, Курской, Тамбовской областей и республики Марий Эл.

Рисунок 1 – Схема проведения исследований

Объектами исследования на различных этапах работы являлись:

– крысы-самцы стока Wistar spf-категории;

– образцы крови, внутренние органы, мышечная ткань крыс;

– свиньи пород крупная белая, ландрас, дюрок, йоркшир и их гибриды;

– образцы крови свиней, полученные во время обескровливания;

– внутренние органы свиней (сердце, печень, легкие);

– свиные туши и выделенные из них образцы мышечной ткани (*m. L. dorsi*).

Методы исследований на лабораторных животных. Воздействие на животных газовыми смесями проводили в камере для эвтаназии (VetTech, Великобритания). Частоту сердечных сокращений (ЧСС) во время воздействия газов определяли непрерывно с помощью пульсиметра (Xiaomi, Китай). Для оценки физиологического состояния животных после воздействия использовали установку «Открытое поле». Биохимические исследования крови проводили на анализаторе BioChem FC-360 (HTI, США).

Методы исследований на продуктивных животных. Живую массу свиней определяли на платформенных весах Реус (Тензосила, Россия). Для оценки результата обездвиживания свиней определяли ЧСС с помощью ветеринарного пульсоксиметра Storm 5000 vet (Dixion, Китай), признаки чувствительности (визуально, аудиально и инструментально). Гибель животных определяли по сигналу о том, что ЧСС находится ниже значения в 30 уд./мин. Биохимические исследования крови проводили на анализаторе BioChem FC-360 (HTI, США).

Для получения смывов с туш применяли губки для смывов (3M, США). Определение количества мезофильных аэробных и анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – по ГОСТ 10444.15. Родовой состав микроорганизмов – с использованием MALDI TOF масс-спектрометрии.

Качество обескровливания оценивали по степени кровенаполнения внутренних органов (сердца, легких, печени), состоянию туш и при помощи гистологического исследования тканей (по ГОСТ 19496 на световом микроскопе «AxioImaiger A1» (Carl Zeiss, Германия) с видеокамерой «AxioCam MRc 5»).

Величину pH *m. L. dorsi* определяли pH-метром Testo 205 (Testo, Германия). Потери массы туш при охлаждении определяли как отношение разности массы парных и охлажденных туш к массе парных туш, выраженное в процентах. Массу туш – на монорельсовых весах (Тензо-М, Россия).

Массовую долю влаги *m. L. dorsi* определяли по ГОСТ 33319. Уменьшение массы образцов мышечной ткани («капельные потери») определяли по отношению разности масс образцов при хранении в течение суток в процентах к изначальной массе образца. Влагоудерживающую способность определяли методом Грау и Хамма в модификации ВНИИМП.

Методы оценки рисков и статистическая обработка. Оценку рисков проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 31000. Первичную идентификацию рисков проводили на основе анализа законодательной и нормативной документации, в соответствии с алгоритмом (рис. 2). Последующую идентификацию рисков проводили по результатам мониторинга промышленных предприятий.

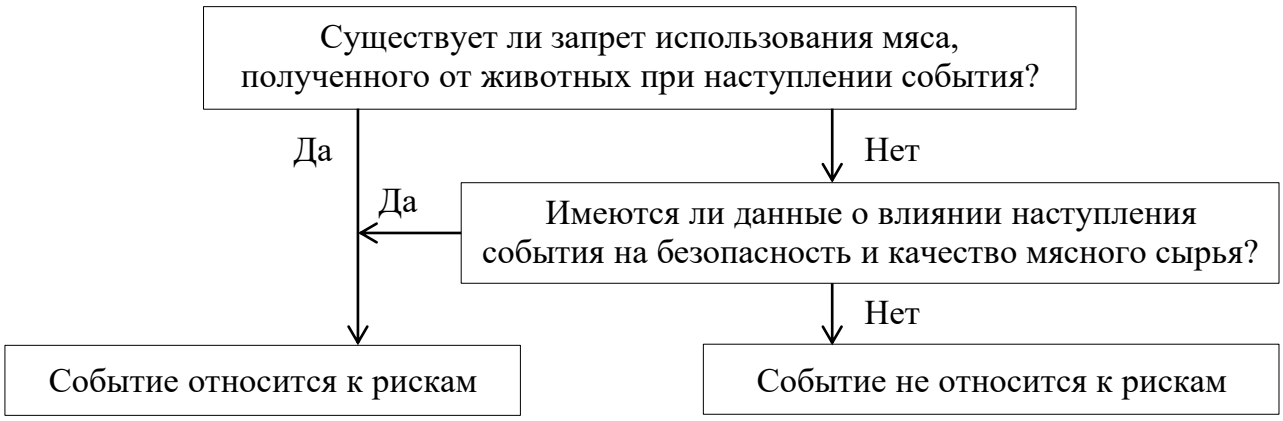

Рисунок 2 – Алгоритм идентификации рисков, связанных с процессом обездвиживания

Вероятность (P) реализации рисков (нежелательного события) и вероятность реализации его последствий оценивали по результатам мониторинга как отношение количества зафиксированных случаев возникновения риска (последствий) к общему количеству оцененных образцов, выраженное в долях единицы. Тяжесть последствий реализации рисков определяли на основании экспертной оценки результатов.

Возможные источники риска определяли с использованием причинно-следственной диаграммы Исикавы согласно ГОСТ Р МЭК 31010.

Оценку управляемости определяли на основании экспертной оценки специалистов предприятий, на которых проводили мониторинг, и результатов собственных исследований.

Ранг источника риска рассчитывали по формуле (1):

$$РИ = Вл + Упр, \quad (1)$$

где РИ – ранг источника риска;

Вл – влияние источника риска;

Упр – управляемость источника риска.

Анализ и окончательную обработку результатов оценки риска проводили по методике Кузнецовой О.А. (2016).

Использованы программы Microsoft Excel 2010, Statistica 10.0. Результаты представляли в виде M (среднее значение измеряемой величины) ±s (стандартная ошибка среднего). Достоверность различий между группами статистически оценивали с использованием однопараметрического ANOVA теста, разницу считали достоверной для $p<0,05$.

Глава 3. Результаты исследований

А. Изучение влияния состава и скорости подачи газовой смеси на прижизненные и послеубойные показатели лабораторных животных

Сравнительная оценка обездвиживания животных с использованием углекислого газа (CO_2), смеси азота и углекислого газа в соотношении 80/20 (N_2+CO_2) и аргона (Ar) показала, что при воздействии всех газовых смесей у животных начинался период двигательной активности с повышением ЧСС, то есть воздействие газов являлось стрессовым фактором. Применение CO_2 приводило к более быстрой потере чувствительности у крыс (на 42 % быстрее по сравнению с применением смеси (N_2+CO_2) и на 59 % быстрее по сравнению с применением Ar).

Анализ восстановления животных после воздействия выявил, что максимальное приближение к показателям прироста живой массы интактных крыс отмечено у крыс групп CO_2 и N_2+CO_2 (8,2 % и 7,9 %, соответственно, к

11,2 % у интакта). В тесте «открытое поле» выявлено, что воздействие CO_2 и смеси (N_2+CO_2) приводило к менее выраженной стрессовой реакции животных.

Исследование влияния скорости потока углекислого газа (0,3 л/мин и 1,5 л/мин) на лабораторных животных показало, что ускоренная подача углекислого газа (1,5 л/мин) в камеру обездвиживания обеспечила в три раза более быструю потерю чувствительности, меньшие повреждения внутренних органов и их меньшее кровенаполнение. Крысы испытывали меньший уровень стресса, о чем свидетельствовали показатели активности лактатдегидрогеназы, креатинфосфокиназы, содержания креатинина в сыворотке крови животных.

Проведенные эксперименты подтвердили отсутствие альтернатив углекислому газу среди исследованных газов, вследствие их большего отрицательного влияния на физиологическое состояние животных. Результаты исследований на лабораторных животных позволили сформировать подходы к проведению мониторинга на промышленных предприятиях.

Б. Идентификация рисков процесса газового обездвиживания свиней и определение нежелательного события

Перед началом производственных экспериментов на свиньях проведена первичная идентификация рисков согласно алгоритму (рис. 2.), выделены следующие риски:

– риск 1: гибель животного во время обездвиживания;

– риск 2: сохранение чувствительности у животного после обездвиживания;

– риск 3: травмирование животного в процессе обездвиживания;

– риск 4: задержка разгрузки и подачи животного на обескровливание.

Вероятность наступления рисков была оценена на основе анализа данных мониторинга промышленных предприятий (табл. 1), применяющих технологию обездвиживания свиней при помощи углекислого газа (2018-2021 гг.).

Среди выявленных случаев нарушений наиболее редко (менее 1 % от общего количества животных) выявлялись риски 3 и 4, в дальнейшем они были исключены из анализа как маловероятные при налаженной работе убойного цеха.

Таблица 1 – Характеристики предприятий, участвовавших в мониторинге

Регион (область)	Мощность убойного цеха		Оборудование для обездвиживания		Рабочая концентрация CO_2, %
	гол./ч	гол./сут.	Тип	Изготовитель	
Белгородская	520	10920	Карусельный	Banss	91
Липецкая	220	3080	Карусельный	Butina	87
Тюменская	100	1400	Лифтовый	Banss	90
Курская	300	4200	Карусельный	Butina	89
Тамбовская	380	6500	Карусельный	Frontmatec	80

В ходе мониторинга были обследованы 659 животных. При этом риск 2 был зарегистрирован в 2,3 раза реже, чем риск 1 (рис. 3).

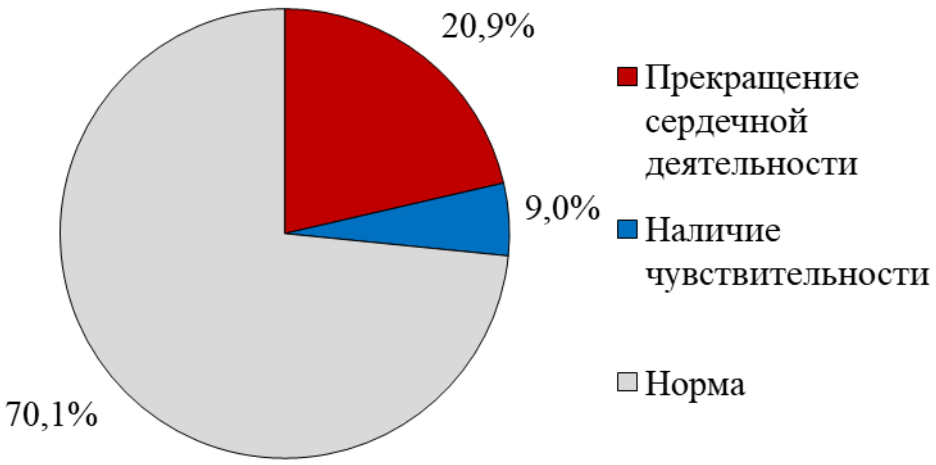

Рисунок 3 – Установленные нарушения процесса обездвиживания свиней

Таким образом, вероятность (P) событий, когда обездвиживание проходило нормально (Norm) составила P (Norm) = 0,701; заканчивалось прекращением сердечной деятельности у животного – P (Risk1) = 0,209; не приводило к потере чувствительности – P (Risk2) = 0,090.

Высокая вероятность наступления Risk1, наличие в международной документации законодательных запретов позволили рассматривать прекращение сердечной деятельности в процессе обездвиживания как нежелательное событие, требующее мер по предотвращению его наступления.

В. Оценка последствий реализации риска для качества и безопасности продуктов убоя

В ходе работы по оценке последствий реализации риска (нежелательного события) проведены исследования продуктов убоя, полученных от свиней, обездвиженных без нарушений, и от свиней, погибших в камере обездвиживания.

По результатам исследований продуктов убоя, полученных от свиней, погибших в камере обездвиживания, проведена оценка вероятности последствий реализации риска (Risk1) и установлена их тяжесть (табл. 2).

Таблица 2 – Вероятность реализации рисков и тяжесть последствий

Последствие проявления риска		Вероятность (P) последствия реализации риска	Тяжесть последствий
Обозна-чение	Описание		
r1Risk1	Высокая степень кровенаполнения внутренних органов	Для сердца: ~0,670 Для легких: ~0,750	Снижение объема выпуска пищевых субпродуктов, возрастание затрат на утилизацию
r2Risk1	Кровенаполнение суставной сумки тазобедренного сустава	~0,880	Снижение объемов выпуска крупнокусковых полуфабрикатов и продуктов из мяса
r3Risk1	Увеличение массовой доли влаги в мышечной ткани и капельных потерь	~0,900	Увеличение потерь при охлаждении и хранении, повышенное отделение влаги при разделке, обвалке, жиловке и хранении
r4Risk1	Окрашивание шпика кровью	~0,760	Развитие окислительной порчи, ограничение по использованию в качестве сырья для продуктов из шпика и шпика как структурного компонента
r5Risk1	Микробиологическое загрязнение	~0,810	Снижение безопасности, сокращение продолжительности хранения

Г. Определение источников риска гибели свиней при обездвиживании и оценка их управляемости

Для определения источников риска составлена причинно-следственная модель (диаграмма Исикавы) появления нежелательного события (рис. 4).

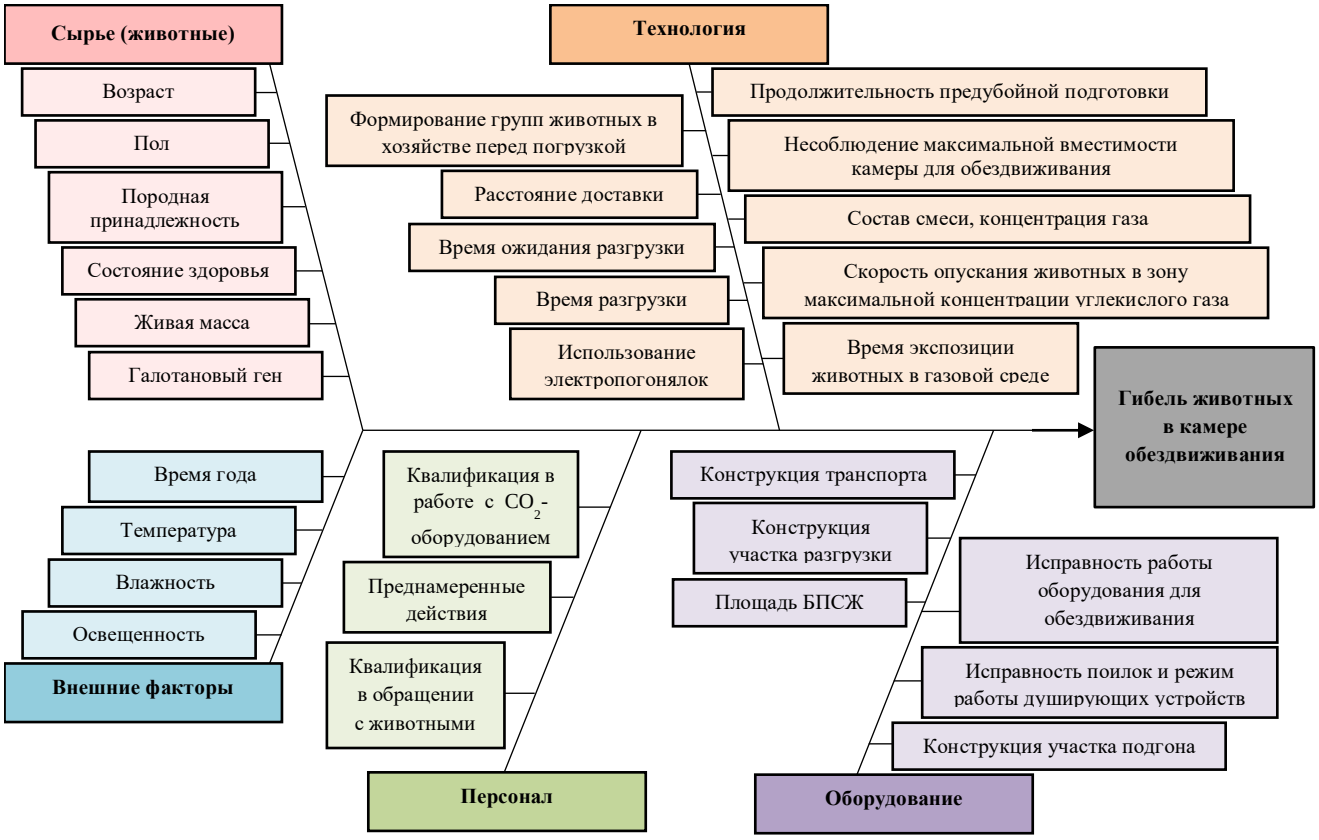

Рисунок 4 – Причинно-следственная модель появления нежелательного события

Проведена оценка управляемости источниками риска с помощью оценки стоимости реализации корректирующих мероприятий и времени на их воплощение.

Оценивали управляемость каждого из источников риска в баллах от 0 до 3, где 0 – управление невозможно, 1 – управление возможно в долгосрочной перспективе и требует значительных затрат, 2 – управление возможно в среднесрочной перспективе и требует значительных затрат, 3 – управление возможно в краткосрочной перспективе и не требует значительных затрат (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты оценки управляемости источниками риска

Категория риска	Источник риска	Управляемость, баллы
Внешние факторы	Температура окружающей среды	0
	Влажность	0
	Время года	0
	Освещенность	3
Животные	Возраст	1
	Пол	2
	Породная принадлежность	1
	Состояние здоровья	2
	Живая масса	1
	Галотановый ген	1
Оборудование	Конструкция транспортного средства	2
	Конструкция участка разгрузки	2
	Площадь базы предубойного содержания животных	2
	Исправность поилок и режим работы душирующих устройств	3
	Конструкция участка подгона	2
	Некорректная работа оборудования для обездвиживания	2
Персонал	Квалификация в обращении с животными	3
	Квалификация в работе с оборудованием для обездвиживания	3
	Преднамеренные действия (жестокое обращение и невыполнение инструкций)	3
Технология	Расстояние доставки	2
	Время ожидания разгрузки	3
	Продолжительность разгрузки	3
	Использование электропогонялок	3
	Продолжительность предубойной подготовки	2
	Концентрация газа в камере обездвиживания	3
	Несоблюдение максимальной вместимости камеры для обездвиживания	3
	Скорость опускания животных в зону максимальной концентрации углекислого газа	2
	Формирование групп животных в хозяйстве перед погрузкой	2
	Время экспозиции животных в камере обездвиживания	3

Д. Изучение влияния источников риска на его реализацию

В условиях мясокомбинатов проведены исследования влияния двух источников – экзогенного (расстояние транспортирования) и эндогенного (породный фактор).

Установлено, что увеличение расстояния транспортирования свиней с 74 км до 210 км приводило к увеличению на 1,7 % количества свиней, погибших при обездвиживании; количества органов с неудовлетворительной степенью кровенаполнения (легких – на 48 % и печени – на 20 %); выявлению 20 % туш, мышечная ткань которых имела морфологические признаки мяса PSE, что, предположительно, явилось следствием транспортного стресса.

Породный фактор оказал влияние на реализацию риска и его последствия: свиньи породы дюрок проходили обездвиживание с положительным результатом на 7,6 % чаще, чем свиньи породы ландрас, и на 11,8 % чаще, чем свиньи крупной белой породы. Внутренние органы свиней породы дюрок имели наименьшее кровенаполнение, а мясо – на 40 % и 26 % более низкие капельные потери, чем мясо свиней породы крупная белая и ландрас.

Е. Анализ и сравнительная оценка риска

На основании литературных данных, экспертной оценки специалистов отрасли и собственных экспериментальных исследований оценено влияние источников риска на возникновение нежелательного события. Источникам риска присвоены оценки в баллах от 0 до 2, где 0 – влияние не выявлено, 1 – выявлено незначительное влияние, 2 – выявлено значительное влияние (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты оценки влияния источников риска

Категория риска	Источник риска	Влияние, баллы
1	2	3
Внешние факторы	Освещенность	2
Животные	Возраст	0
	Пол	2
	Породная принадлежность	2
	Состояние здоровья	2
	Живая масса	0
	Галотановый ген	2

Окончание таблицы 4

1	2	3
Оборудование	Конструкция транспортного средства	1
	Конструкция участка разгрузки	1
	Площадь базы предубойного содержания животных	1
	Исправность поилок и режим работы душирующих устройств	2
	Конструкция участка подгона	1
	Некорректная работа оборудования для обездвиживания	2
Персонал	Квалификация в обращении с животными	2
	Квалификация в работе с оборудованием для обездвиживания	1
	Преднамеренные действия (жестокое обращение с животными, невыполнение инструкций)	2
Технология	Расстояние доставки	2
	Время ожидания разгрузки	2
	Продолжительность разгрузки	2
	Использование электропогонялок	2
	Продолжительность предубойной подготовки	2
	Концентрация газа в камере обездвиживания	2
	Несоблюдение максимальной вместимости камеры для обездвиживания	1
	Скорость опускания животных в зону максимальной концентрации углекислого газа	2
	Формирование групп животных в хозяйстве перед погрузкой	2
	Время экспозиции животных в камере обездвиживания	2

Для ранжирования источников риска разработана матрица оценки источников риска (рис. 5).

2	3	4	5
1	2	3	4
0	1	2	3

5	Высокий	4	Средний	2-3	Низкий	0-1	Незначительный

0-5 – степень источника риска, рассчитанный по формуле (1)

Рисунок 5 – Матрица оценки источников риска

При помощи матрицы оценки источников риска ранжированы источники риска (табл. 5).

Таблица 5 – Результаты ранжирования источников риска

Ранг источника риска	Источник риска
1	2
Высокий	Концентрация газа в камере обездвиживания
	Время экспозиции животных в камере обездвиживания
	Освещенность
	Квалификация в обращении с животными
	Преднамеренные действия (жестокое обращение с животными, невыполнение инструкций)
	Использование электропогонялок
	Исправность поилок и режим работы душирующих устройств
	Время ожидания разгрузки
	Продолжительность разгрузки
Средний	Пол
	Состояние здоровья
	Некорректная работа оборудования для обездвиживания
	Квалификация в работе с оборудованием для обездвиживания
	Несоблюдение максимальной вместимости камеры для обездвиживания
	Скорость опускания животных в зону максимальной концентрации углекислого газа
	Расстояние доставки
	Продолжительность предубойной подготовки
	Формирование групп животных в хозяйстве перед погрузкой
Низкий	Породная принадлежность
	Галотановый ген
	Конструкция транспортного средства
	Конструкция участка разгрузки
	Площадь базы предубойного содержания животных
	Конструкция участка подгона
Незначительный	Возраст
	Живая масса

Таким образом, определены источники риска, воздействие на которые будет иметь наибольшую эффективность при наименее существенных затратах.

Ж. Обработка риска и производственная апробация

Для минимизации влияния источников риска на возникновение нежелательного события разработаны корректирующие мероприятия, предполагающие дополнительные этапы обработки продуктов убоя или изменение направления их использования.

Для снижения вероятности реализации риска разработан комплекс предупреждающих мероприятий (табл. 6).

Таблица 6 – Предупреждающие мероприятия

№	Мероприятие
Краткосрочная перспектива (от месяца до года)	
1	Подбор режимов работы камеры обездвиживания с учетом особенностей поступающего на переработку поголовья
2	Регулирование освещенности в зонах разгрузки, предубойного содержания и подгона к камере обездвиживания
3	Разработка системы обращения с животными в соответствии с международными принципами Animal Welfare
4	Оборудование базы предубойного содержания поилками и душирующими устройствами в необходимом объеме и обеспечение их бесперебойной работы
5	Регулирование графика поставки животных с целью исключения простоев при приемке
Среднесрочная перспектива (1-3 года)	
6	Организация контроля работоспособности оборудования для обездвиживания
7	Повышение квалификации сотрудников для работы с оборудованием для обездвиживания
8	Разработка комплекса мероприятий по профилактике респираторных заболеваний среди животных в хозяйствах
9	Подбор поставщиков животных с учетом расстояния до предприятия
10	Регулирование графика поставки животных, убоя, холодильных камер, отгрузки и переработки с тем, чтобы обеспечивать животным предубойный отдых с учетом расстояния транспортирования и их состояния
11	Обеспечение заблаговременного формирования групп животных в хозяйстве до отгрузки
Долгосрочная перспектива (3-7 лет)	
12	Изменения в селекционно-генетической работе с учетом данных о реакциях свиней с определенными генами на воздействие газом
13	Замена парка автотранспорта для доставки животных
14	Реконструкция участка разгрузки
15	Реконструкция базы предубойного содержания
16	Реконструкция участка подгона

Реализацию предупреждающих мероприятий краткосрочной перспективы осуществляют согласно предложенному алгоритму (рис. 9).

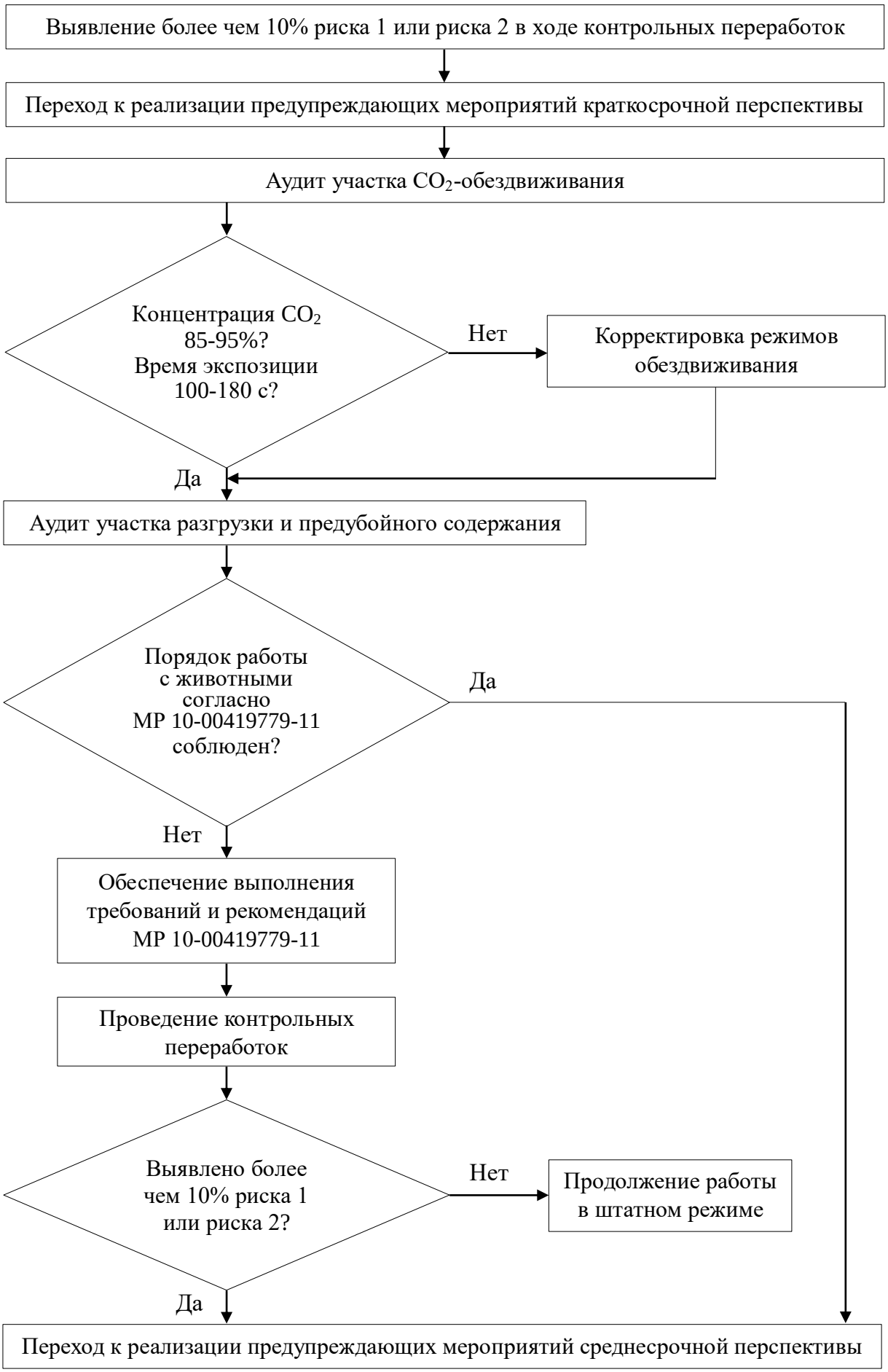

Рисунок 9 – Алгоритм предупреждающих мероприятий краткосрочной перспективы

Эффективность разработанных мероприятий по управлению риском подтверждена в ходе контрольного убоя свиней на АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат», по результатам которого установлено, что 110 голов свиней (100 % выборки) были обездвижены с сохранением сердечной деятельности и потерей чувствительности после выхода из зоны действия газовой смеси до закола.

Разработанные предупреждающие и корректирующие мероприятия включены в Методические рекомендации по управлению процессом газового обездвиживания свиней на основе анализа рисков (МР 10-00419779-12), прошедшие апробацию на АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» и содержащие подробный алгоритм управления рисками, адаптированный для самостоятельного применения специалистами предприятий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В ходе изучения влияния параметров газовой смеси на показатели лабораторных животных установлено, что наиболее приемлемым вариантом газовой смеси для обездвиживания из изученных является углекислый газ с подачей 1,5 л/мин. вследствие уменьшения периода обездвиживания в три раза, а также более высоких показателей кровенаполнения внутренних органов. Одновременно установлено, что, независимо от параметров газовой смеси, животные испытывают стресс с длительно сохраняющимися последствиями.

2. По результатам мониторинга 659 голов свиней на пяти убойных предприятиях мощностью от 100 до 520 голов/час идентифицированы потенциальные риски процесса газового обездвиживания. Риск «гибель свиней в процессе обездвиживания», вероятность реализации которого была максимально высокой (P/Risk1/ = 0,209), принят в качестве нежелательного события.

3. В процессе изучения качества и безопасности продуктов убоя в рамках мониторинга выявлены последствия реализации риска (нежелательного события) и оценена вероятность их наступления: увеличение кровенаполнения внутренних органов (P/r1Risk1/ = 0,670…0,750), кровоизлияния в суставных сумках тазобедренной части (P/r2Risk1/ = 0,880), снижение органолептических характеристик шпика (P/r3Risk1/ = 0,760), увеличение массовой доли влаги в

мышечной ткани и капельных потерь (P/r1Risk1/ = 0,900), а также повышенная микробная контаминация поверхности туш (P/r7Risk1/ = 0,810).

4. Определены 29 источников риска в пяти группах (сырье, технология, персонал, оборудование и внешние факторы), из которых, согласно оценке управляемости, не менее 10 источников риска подлежат регулированию без значительных затрат и перестройки производства.

5. Изучено влияние ряда источников риска на реализацию риска и ее последствия, в частности:

– влияние расстояния транспортирования: исследования, проведенные на свиньях, подтвердили влияние транспортного стресса, вызванного трехчасовой поездкой, на результат обездвиживания (повышение доли погибших животных на 1,7 %), кровенаполнение внутренних органов (сокращение доли нормальных легких на 40 %, печени – на 12 %), возникновение порока качества мяса (увеличение доли PSE на 20 %) по сравнению с транспортированием в течение полутора часов;

– влияние породного фактора: установлены различия в реакции свиней пород дюрок, ландрас и крупная белая на воздействие углекислого газа при одинаковых условиях откорма, транспортирования, предубойного содержания и обездвиживания, которые показали преимущества свиней породы дюрок, в том числе отсутствие фактов гибели во время обездвиживания, лучшие показатели состояния печени (на 11% меньшее кровенаполнение по сравнению со свиньями ландрас и на 47 % – со свиньями крупной белой породы), наименьшие капельные потери (на 26 % меньше чем ландрас и на 40 % меньше чем крупная белая); результаты исследования позволили рекомендовать породу дюрок для предприятий, использующих газовое обездвиживание.

6. Разработаны и апробированы Методические рекомендации по управлению процессом газового обездвиживания свиней на основе анализа рисков (МР 10-00419779-12), содержащие алгоритм по управлению рисками, а также предупреждающие и корректирующие мероприятия; Методические рекомендации по совершенствованию транспортирования и предубойной подготовки свиней (МР 10-00419779-11).

7. Согласно экономическим расчетам эффект от внедрения инструментов управления риском на убойных предприятиях, реализующих крупнокусковые полуфабрикаты, может составить от 13,2 млн. рублей в год для предприятия с долей гибели животных при обездвиживании 12,0 % до 40,5 млн. рублей в год для предприятия с долей гибели животных при обездвиживании 23,3 %.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Семенова, А.А. Практика применения газов для обездвиживания свиней/ А.А. Семенова, Т.М. Миттельштейн, **А.И. Синичкина** // Всё о мясе. – 2016. – №6. – С. 53-55.

2. Семенова, А.А. Влияние способа обездвиживания на качество свинины / А.А. Семенова, Т.М. Миттельштейн, **А.И. Синичкина** // Всё о мясе. – 2017. – №3. – С. 26-27.

3. **Синичкина, А.И.** Сравнительная оценка влияния газовых смесей на физиологическое состояние лабораторных животных при обездвиживании / **А.И. Синичкина**, Е.Р. Василевская, И.В. Козырев, Т.М. Миттельштейн, А.А. Семенова // Всё о мясе. – 2017. – №6. – С. 56-60.

4. Семенова, А.А. Оборудование для газового обездвиживания свиней: исторические аспекты и современное развитие / А.А. Семенова, **А.И. Синичкина**, М.В. Трифонов // Мясная индустрия. – 2019. – №4. – С. 12-16.

5. Козырев, И.В. Факторы, влияющие на качество свинины. Часть 1 / И.В. Козырев, Т.В. Мишугина, Т.М. Миттельштейн, **А.И. Синичкина** // Всё о мясе. – 2020. – №3. – С. 48-54. – DOI: 10.21323/2071-2499-2020-3-48-54.

6. Semenova, A.A. An effect of the animal condition after gas stunning on quality of slaughter products from Large White pigs / Semenova A.A., **Sinichkina A.I.**, Kozyrev I.V., Mittelstein T.M. // Theory and practice of meat processing. – 2020. – №5(2). – С. 39-44. – DOI: 10.21323/2414-438X-2020-5-2-39-44.

7. **Синичкина, А.И.** Влияние физиологического состояния животных при газовом обездвиживании на качество продуктов убоя, полученных от свиней породы ландрас / **А.И. Синичкина**, А.А. Семенова, И.В. Козырев,

Т.М. Миттельштейн // Всё о мясе. – 2020. – №5S. – С. 333-336. – DOI: 10.21323/2071-2499-2020-5S-333-336.

8. **Синичкина, А.И.** Влияние расстояния транспортирования свиней на показатели качества продуктов убоя при использовании технологии газового обездвиживания / **А.И. Синичкина**, А.А. Семенова, В.В. Насонова, Т.Г. Кузнецова // Всё о мясе. – 2022. – №2. – С. 27-31. – DOI: 10.21323/2071-2499-2022-2-27-31.

Публикации в изданиях, входящих в базу данных РИНЦ

9. Семенова, А.А. Оборудование для газового обездвиживания свиней: исторические аспекты и современное развитие / А.А. Семенова, **А.И. Синичкина**, М.В. Трифонов // Мясная индустрия. – 2019. – №2. – С. 10-15.

10. Семенова, А.А. Оборудование для газового обездвиживания свиней: исторические аспекты и современное развитие / А.А. Семенова, **А.И. Синичкина**, М.В. Трифонов // Мясная индустрия. – 2019. – №3. – С. 18-21.

11. **Синичкина, А.И.** Исследование качества продуктов убоя, получаемых от свиней породы дюрок, подвергнутых газовому обездвиживанию / **А.И. Синичкина** // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4. – №3S. – С. 271-274. – DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-271-274.

Статьи и материалы конференций

12. Семенова, А.А. Влияние режимов газового обездвиживания на изменение послеубойных характеристик в условиях модельного эксперимента/ А.А. Семенова, Л.В. Федулова, **А.И. Синичкина**, Т.М. Миттельштейн, И.В. Козырев // Практические и теоретические аспекты комплексной переработки продовольственного сырья и создания конкурентоспособных продуктов питания – основа обеспечения импортозамещения и продовольственной безопасности России: сб. тр. 19-й межд. конф., посв. памяти В.М. Горбатова. – М.: ВНИИМП, 2016. – С. 379-381.

13. **Sinichkina, A.I.** An effect of gas stunning regimes on changes in post-mortem characteristics in the conditions of a model experiment / **A.I. Sinichkina**, T.M. Mittelstein, I.V. Kozyrev, A.B. Lisitsyn, A.A. Semenova // 63rd International congress of meat science and technology. – Cork, Ireland, 2017. – P. 441-443.

14. **Синичкина, А.И.** Влияние параметров CO_2-обездвиживания на физиологическое состояние лабораторных животных / **А.И. Синичкина** // Пищевые системы: теория, методология, практика: сб. тр. науч.-практ. конф. – М.: ВНИХИ, 2017. – С. 275-281.

15. Kuznetsova, O.A. The study of the condition of carcass tissues and internal organs of pigs upon critical impact of CO_2–stunning / O.A. Kuznetsova, A.A. Semenova, T.G. Kuznetsova, **A.I. Sinichkina** // 64th International congress of meat science and technology. – Melbourne, Australia, 2017.

16. **Синичкина, А.И.** Качество мяса от свиней разных пород при использовании газового обездвиживания / **А.И. Синичкина**, Т.М. Миттельштейн, И.В. Козырев // Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы: сб. тр. 21-й межд. науч.-практ. конф., посв. памяти В.М. Горбатова. – М: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2018. – С. 236-238.

17. Насонова, В.В. Риски распространения микроорганизмов со свиными субпродуктами / В.В. Насонова, А.А. Семенова, Ю.К. Юшина, Д.С. Батаева, **А.И. Синичкина** // Новые технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии: мат. межд. конф. – Гурзуф, 2022.