ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ им. В.М. ГОРБАТОВА» РАН

На правах рукописи

Синичкина Алена Игоревна

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

Спешиальности:

05.18.04 Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

05.02.23 Стандартизация и управление качеством продукции

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научные руководители: доктор технических наук, профессор Семенова Анастасия Артуровна доктор технических наук Кузнецова Оксана Александровна

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
Глава 1. Обзор источников литературы
1.1 Законодательные требования к проведению убоя свиней
1.2 Типы установок для газового обездвиживания. Принципы работы и контроля
процесса оглушения животных
1.3 Влияние прижизненных факторов на благополучие свиней
1.4 Влияние газового обездвиживания на качество мяса и субпродуктов 31
1.5 Перспективы риск-менеджмента в мясной промышленности
1.6 Заключение по обзору источников литературы
Глава 2. Объекты, условия, организация и методы исследования
2.1 Объекты исследования
2.2 Условия проведения экспериментальных исследований
2.3 Организация экспериментальных исследований
2.4 Методы исследований
2.4.1 Методы исследований, применявшиеся в опытах на лабораторных животных
2.4.2 Методы исследований, применявшиеся в опытах на продуктивных животных
2.4.3 Методы оценки рисков и статистическая обработка
Глава 3. Результаты исследований
3.1 Изучение влияния параметров газовой смеси на состояние лабораторных
животных
3.1.1 Изучение влияния состава газовой смеси на прижизненные и послеубойные показатели 50
3.1.2 Изучение влияния скорости подачи газовой смеси на прижизненные и послеубойные показатели

3.2 Идентификация рисков процесса газового обездвиживания свиней
и определение нежелательного события72
3.3 Оценка последствий реализации риска для качества и безопасности
продуктов убоя75
3.4 Определение источников риска гибели свиней при обездвиживании и оценка
их управляемости
3.5 Изучение влияния источников риска на его реализацию
3.5.1 Изучение влияния расстояния транспортирования свиней на прижизненные и послеубойные показатели
3.5.2 Изучение влияния породного фактора свиней на прижизненные и послеубойные показатели
3.6 Анализ и сравнительная оценка риска
3.7 Обработка риска и производственная апробация
3.8 Экономический эффект управления риском
Основные результаты и выводы
Список сокращений и условных обозначений
Список литературы
Приложение 1
Приложение 2
Приложение 3
Приложение 4
Приложение 5
Приложение 6

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. 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 [1, 2]. 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 [3]. В этих условиях конкуренция между производителями, главным образом, в области качества выпускаемой продукции, будет усиливаться.

Качество свинины начинает закладываться на генетическом уровне и формируется в течение всего периода выращивания и откорма, однако достижения селекционеров и зоотехников могут быть потеряны при использовании неверных технологических решений на этапе предубойной подготовки, убоя и первичной переработки животных. Большое значение для качества и безопасности мяса, особенно, при длительном хранении, 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, что крайне важно для предприятий мясной промышленности в условиях конкуренции. 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.

В настоящей работе процесс обездвиживания рассматривается под нетривиальным углом: возможные нарушения процесса представлены в качестве рисков, повлиять на предотвращение реализации которых производителям свинины предлагается путем внедрения инструментов управления рисками, традиционно применяющимся для предотвращения возникновения опасных факторов, в контексте технологических решений.

Степень разработанности. 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., Mota-Rojas D. и др.; газового обездвиживания: Любовский Г.А., Гурари изучением Ивашина В.К., Grandin T., Channon A., Raj A.B.M., Gregory N., Atkinson S. и др. Чернухи работах И.М. Методология анализа рисков основана на 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 риском, связанными с газовым обездвиживанием свиней.

В рамках 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 практическая И 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 обеспечения ДЛЯ 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).

Апробация результатов исследований. 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 XIX Международной конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова «Практические и теоретические аспекты комплексной переработки продовольственного сырья И создания конкурентоспособных продуктов обеспечения питания основа импортозамещения и продовольственной безопасности России» (Москва, 2016), 63rd International Congress of Meat Science and Technology (Корк, Ирландия, 2017), XIмеждународной научно-практической конференции молодых ученых практика» «Пишевые системы: теория, методология, (Москва, 2017). 64th International Congress of Meat Science and Technology (Мельбурн, Австралия, 2017), XXI Международной конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова

«Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности — тенденции, стратегии, вызовы» (Москва, 2018), XXX Конференции «Новые технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии» (Ялта-Гурзуф, 2022).

Работа отмечена дипломом Российской академии наук за лучшую научноисследовательскую работу в рамках XI международной научно-практической конференции молодых ученых «Пищевые системы: теория, методология, практика» (Приложение 1).

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, в том числе 3 – в международных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация имеет традиционную архитектонику и состоит из введения, обзора литературы, схемы организации эксперимента с описанием объектов и методов исследований, результатов экспериментальных исследований, выводов, списка использованной литературы, 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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ^{*}

1.1 Законодательные требования к проведению убоя свиней

Основополагающими документами, регулирующими защиту сельскохозяйственных животных в Евросоюзе, являются Европейская конвенция о защите животных, содержащихся в сельскохозяйственных целях [4], и Директива Совета ЕС от 20 июля 1998 г. № 98/58/ЕС [5]. В этих документах представлены требования об обязанностях государств-членов ЕС предпринимать все разумные меры для обеспечения благополучия животных и их защиты от предотвратимых страданий или травм [4, 5].

Требования к обращению с убойными животными, касающиеся погрузки, транспортирования, разгрузки, предубойного содержания, обездвиживания и убоя, содержатся в Европейской конвенции о защите убойных животных от 10 мая 1979 г. № 102 [6]. Конвенция накладывает на государства-члены ЕС ряд обязательств по обращению с животными на бойнях, в том числе необходимость обездвиживания животного перед убоем; регламентируются допустимые способы обездвиживания (использование пневматических или пороховых пистолетов, электроустановок или установок газового обездвиживания) и запрет на ограничение движения (исключая удерживание непосредственно в боксе обездвиживания электротоком или пистолетом) [6].

Одним из принятых в ЕС документов, касающихся благополучия убойных животных, является Регламент Совета ЕС от 24 сентября 2009 г. № 1099/2009 «О защите животных во время убоя», в котором указано, что эффективность каждого метода оглушения должна быть основана на контроле ключевых параметров и их регулярной оценке [7].

Указанные в Регламенте Совета ЕС № 1099/2009 параметры применения газовых смесей, которые необходимо контролировать при использовании химического способа обездвиживания свиней, приведены в табл. 1.

_

 $^{^*}$ Материалы, изложенные в главе 1, опубликованы в работах [17, 18, 24, 34, 72, 125, 126].

Таблица 1 – Параметры контроля применения газовых смесей согласно [7]

Параметры контроля	Состав смеси			
	Углекислый Углекислый газ		Инертные	
	газ	(концентрация	газы	
	(концентрация	не менее 30 %)	(аргон, азот	
	более 80 %)	+ инертные	и другие)	
	+ воздух	газы		
Продолжительность	1	+	1	
воздействия	+	+	+	
Концентрация углекислого газа	+	+	_	
Концентрация воздуха	_	+	_	
Концентрация кислорода	_	_	+	
Максимальный интервал между				
оглушением и заколом	+	+	+	
животного				
Качество и температура	+	+		
подаваемого газа			T	

В Регламенте Совета ЕС № 1099/2009 приведены следующие требования к оборудованию для газового обездвиживания:

- возможность постоянного измерения, отображения и записи концентрации газа и времени воздействия, наличие средств визуального и звукового предупреждения в случае снижения концентрации газа ниже необходимого уровня; хранение записей на протяжении года или более;
- предоставление животным достаточной площади для того, чтобы свободно лечь [7].

В настоящее время газовое обездвиживание используется на всех средних и крупных бойнях Дании [8]. Также по данным Департамента продовольствия и сельского хозяйства Великобритании в 2018 году 86 % свиней, подвергшихся убою в Англии и Уэльсе, были обездвижены при помощи углекислого газа [9, 10].

Законодательство государств-членов ЕС в сфере газового обездвиживания свиней гармонизировано с Регламентом и Директивами Совета ЕС и может включать в себя ряд дополнительных требований. В Великобритании существуют дополнительные требования к операторам и оборудованию для газового обездвиживания:

- 1) оборудование для обездвиживания должно быть спроектировано, сконструировано и поддерживаться таким образом, чтобы избегать сжатия грудной клетки свиней, позволять свиньям оставаться в вертикальном положении до потери сознания, позволять свиньям видеть других свиней во время движения;
- 2) освещение в шахте должно быть достаточным для того, чтобы свиньи могли видеть окружающую обстановку и своих сородичей;
- 3) газовая камера должна быть оборудована устройством для поддержания концентрации газа;
- 4) внутри камеры должно иметься средство визуального контроля за свиньями;
- 5) внутри шахты должно иметься средство продувки атмосферным воздухом;
- 6) должно иметься средство доступа к любой свинье с минимальной задержкой;
- 7) в случае активации визуальных и звуковых предупредительных сигналов или при обнаружении дефектов в работе оборудования ни одна свинья не должна оставаться в камере обездвиживания;
- 8) при обездвиживании свиней углекислым газом с высокой концентрацией свиньям запрещено входить в шахту, если концентрация углекислого газа в газовой смеси падает ниже 80 %;
- 9) транспортирование свиней от входа в шахту до точки максимальной концентрации газа должно происходить в течение не более 30 секунд [11].

Начиная с декабря 2019 года все оборудование для газового обездвиживания, функционирующее на заводах Великобритании, должно быть оснащено самописцами, фиксирующими концентрацию газа в камере, а также четко видимыми и слышимыми датчиками сигналами тревоги, связанными с датчиками концентрации газа. Тем не менее, они всегда должны быть дополнены тщательным наблюдением за животными [11].

Другими характеристиками исправно функционирующей системы являются:

- регулярный цикл;
- удобный для животных вход в камеру, требующий минимального воздействия со стороны персонала;
- система управления, обеспечивающая вход свиней в гондолу только при готовности к спуску;
- достаточное для ориентирования животных освещение снаружи и внутри камеры животных, но не слишком яркое;
 - быстрое погружение в зону высокой концентрации углекислого газа;
- достаточное время пребывания свиней в атмосфере углекислого газа для обеспечения адекватного оглушения;
 - регулярная ротация персонала;
 - регулярная проверка признаков возвращения чувствительности;
 - наличие доступной резервной системы обездвиживания;
- план на случай непредвиденных обстоятельств при срабатывании, например, пожарной сигнализации, при котором можно немедленно извлечь животных;
- понятные инструкции аварийной системы на дисплее, в дополнение к
 планам на случай непредвиденных обстоятельств [11].

Рабочий персонал и оборудование должны регулярно проходить проверки для обеспечения эффективности. Персонал должен быть обучен эксплуатации оборудования и разобраться в его работе. В частности, рабочие должны быть осведомлены о следующих деталях работы:

- среднее время цикла;
- признаки наличия и отсутствия чувствительности при выходе животных из камеры;
 - порядок действий в чрезвычайной ситуации;
 - оптимальная концентрация газа;
 - местонахождение датчика концентрации газа в системе;
 - процедура смешивания газа после длительных перерывов в работе [11].

Оборудование, выпускаемое в последние годы, позволяет ввести в настройках системы защиту с помощью пароля для того, чтобы только ответственный сотрудник мог изменять продолжительность цикла. Это исключает возможность изменения параметров установки неквалифицированным персоналом, что ставит под угрозу благополучие животных [11].

Как было сказано выше, персонал, работающий с системами газового обездвиживания, должен уметь распознавать как эффективно, так и неэффективно оглушенных животных и знать, как на них реагировать. Должны проводиться как визуальная, так и инструментальная оценка, при этом визуальный контроль осуществляют непрерывно, инструментальные тесты проводят регулярно в течение смены. Результаты тестов должны быть зафиксированы так, чтобы любые изменения в эффективности обездвиживания можно было контролировать и, благодаря быстрой фиксации, реагировать прежде, чем возникнет проблема. Животные должны показывать отсутствие реакции по всем показателям, перечисленным в табл. 2 [11].

Таблица 2 – Методы контроля качества обездвиживания в Великобритании [11]

Способ контроля	Тест	Примечание				
Визуальный	Отсутствие	Допустимо наличие агонального				
	ритмичного	неритмичного дыхания, не являющегося				
	дыхания	признаком возвращения к сознанию				
Визуальный	Спокойное	Туловище животного должно находиться в				
	положение	расслабленном состоянии, челюсти				
	туловища	разомкнуты, язык высунут				
Визуальный	Отсутствие	Обездвиженное или мертвое животное				
	произвольных	может демонстрировать рефлекторные				
	движений	несогласованные движения, которые не				
		следует путать с координированными				
		движениями				
Инструментальный	Отсутствие	Булавочный укол в пятачок не должен				
	реакции на	вызывать реакции, так как наличие реакции				
	укол	свидетельствует о наличии чувствительности				
Инструментальный	Отсутствие	Реакция должна отсутствовать так же, как и				
	реакции на	на булавочный укол				
	щипок за ухо					
Инструментальный	Отсутствие	Прикосновение к глазу не должно вызывать				
	роговичного	ответной реакции				
	рефлекса					

Газовое обездвиживание используется не только в Евросоюзе, но и в Канаде. Канадское агентство продовольственной инспекции (Canadian Food Inspection Agency, CFIA) регламентирует следующие требования к оборудованию для газового обездвиживания:

- 1) оборудование должно учитывать размер и массу свиней, поступающих на предприятие;
- 2) конструкция оборудования должна исключать возникновение травм, переполнения камер и ненужного стресса;
- 3) концентрация газа на входе в камеру и в точке максимальной концентрации должна измеряться и выводиться на монитор непрерывно;
 - 4) время экспозиции также должно выводиться на монитор;
- 5) необходимо иметь возможность визуально контролировать состояние животных во время воздействия, чтобы отслеживать негативные реакции (возбуждение и попытки к бегству);
- 6) необходимо иметь доступ к животным на случай выхода из строя оборудования, принимая во внимание безопасность персонала;
- 7) прилегающая к установке рабочая зона должна быть оснащена газоизмерительным оборудованием, которое непрерывно контролирует и отображает концентрацию газов и сможет подать сигнал тревоги в случае превышения;
- 8) рекомендуется использовать системы для группового, а не индивидуального обездвиживания [12].

Специальных требований по проведению газового обездвиживания в Российской Федерации на настоящий момент не существует. Обязательные обездвиживания требования к процессам ограничиваются п. 36 Технического регламента Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной TP TC 034/2013: «Обездвиживание продукции» продуктивных животных использованием средств, обеспечивающих ослабление осуществляется c чувствительности продуктивных животных и потерю способности к движению при работающем сердце» [13].

В то же время существует ряд рекомендуемых документов, в которых описаны параметры и условия обездвиживания свиней, в том числе при помощи углекислого газа. В Технологических инструкциях по переработке скота на предприятиях мясной промышленности содержатся рекомендации по скорости погружения свиней в зону максимальной концентрации газа, минимальному времени цикла и минимальной концентрации газа [14].

Направление настоящей диссертационной работы корреспондируется с отдельными задачами Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. [15]: в частности, «совершенствование и развитие методологической базы для оценки соответствия показателей качества пищевой продукции», «обеспечение мониторинга качества пищевой продукции», «разработка и внедрение системы управления качеством пищевой продукции».

1.2 Типы установок для газового обездвиживания. Принципы работы и контроля процесса оглушения животных

Конструирование оборудования для обездвиживания животных при убое первоначально развивалось как поиск технических решений, обеспечивающих безопасную, бесперебойную и производительную работу персонала. Эти решения были направлены, прежде всего, на разработку различных конструкций боксов, которые позволяли ограничить пространство вокруг животного и зафиксировать положение его головы для того, чтобы обеспечить возможность зареза. Многие технические решения по проектированию боксов для мясной промышленности, разработанные в прошлом веке (в том числе советскими конструкторами), были запатентованы как универсальные решения для любого способа убоя — без обездвиживания или с обездвиживанием, включая применение механического, электрического и химического (газового) способов [16, 17].

В настоящее время, учитывая компактность оборудования, экономию производственных площадей, сниженные риски повышения концентрации углекислого газа в рабочей зоне персонала ввиду большей глубины газовой камеры, вертикально-погружной принцип работы используется в большинстве

современных типов оборудования. В зависимости от производительности оборудования установки различаются количеством кабин для животных, их размером и организацией движения (лифтовые или карусельные) [18].

В оборудовании лифтового типа шахта, как правило, имеет меньшие глубину и площадь, используется одна кабина для животных. В установках карусельного типа загрузка свиней в кабины происходит с одной стороны шахты, в которой несколько кабин для животных движутся последовательно (одна за другой) к месту выгрузки обездвиженных животных с другой стороны шахты. Производительность установок карусельного типа выше, и они чаще комплектуются устройствами для автоматизированного подгона животных разных конструкций [18].

В настоящее время на рынке представлены различные компаниипроизводители оборудования для газового обездвиживания свиней. Одной из зарубежных крупнейших компаний. осуществляющих поставки такого оборудования на российский рынок, является «Banss». Компания предлагает разработанные совместно с научно-исследовательским и конструкторским представительством в Хольбеке (Дания) установки модельного ряда «Somnia» производительностью от 160 до 1200 голов/ч. Установки различаются между собой количеством и размером кабин для животных: так, установка минимальной производительностью (160 голов/ч) имеет одну кабину, вмещающую в себя 4-8 товарных свиней; установка максимальной производительностью (1200 голов/ч) имеет семь кабин большого размера, вмещающих в себя 9-10 товарных свиней. На рис. 1 представлена схема устройства установки «Banss Somnia S6» (производительность 820-960 голов/ч), которая имеет шесть кабин. Отличительной особенностью установок модельного ряда «Somnia» является их автоматизированным участком комплектация подгона, разделенным на небольшие секции, вмещающие количество свиней, необходимое для загрузки одной кабины, позволяющим обеспечить ритмичную погрузку животных в кабины [19].

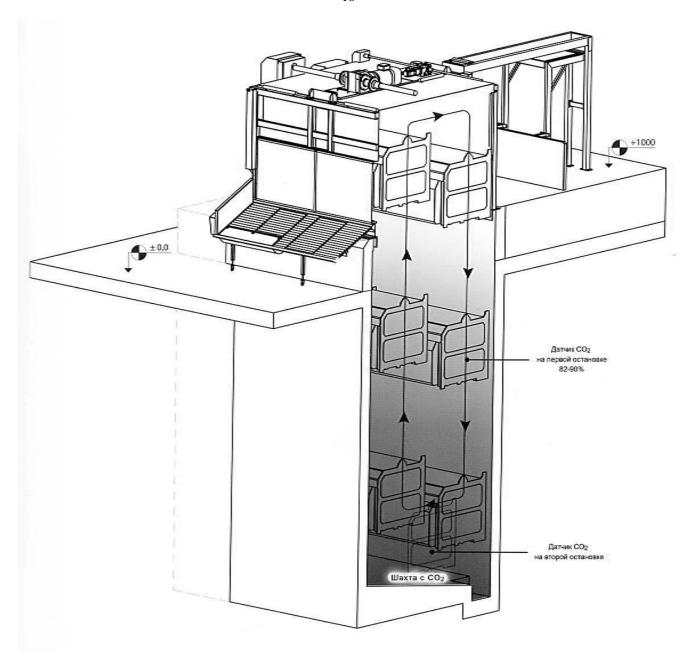


Рисунок 1 – Установка для газового обездвиживания «Banss Somnia S6» [19]

На российских предприятиях широко используется оборудование «Butina» компании «Marel» (Исландия). Подразделение «Butina» (Хольбек, Дания) имеет 35-летний более чем проектирования, опыт производства монтажа обездвиживания. Оборудование разработано оборудования ДЛЯ газового совместно с Датским научно-исследовательским институтом мяса. Модельный ряд «Butina» включает установки различной производительности от 100 до 1400 голов/ч. На рис. 2 представлена установка «Butina Backloader G3 RelaX», которая имеет шесть кабин для животных площадью 3,12 м² каждая, вмещающих по шесть товарных свиней [20].

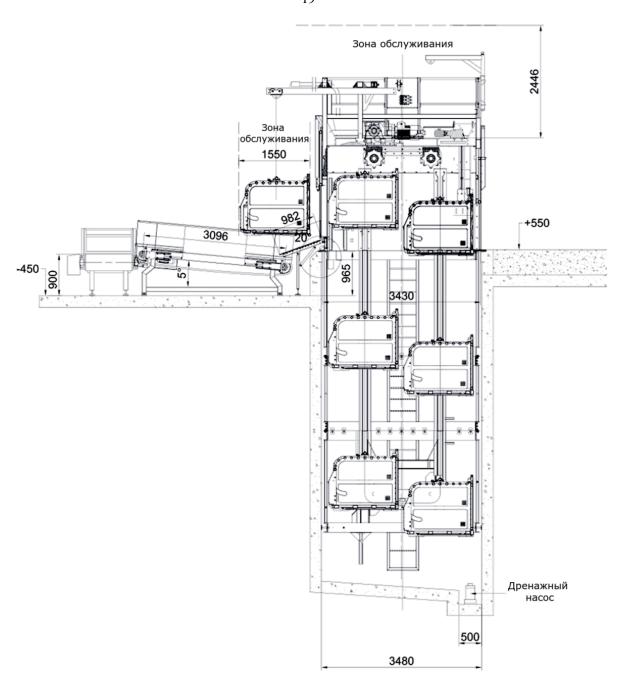


Рисунок 2 – Установка для газового обездвиживания «Butina Backloader G3 RelaX» [20]

Еще один широко известный производитель оборудования для газового обездвиживания, представленный на российском рынке – компания «Frontmatec» (Кольдинг, Дания), образованная в результате слияния шести фирм («SFK LEBLANC», «Attec», «ITEC», «Carometec», «Accles & Shelvoke» и «Frontmatec»). Производительность установок «Frontmatec CO₂ stunning system» варьируется от 145 до 1400 голов/ч, конструкция схожа с другими установками датского типа (рис. 3) [21].

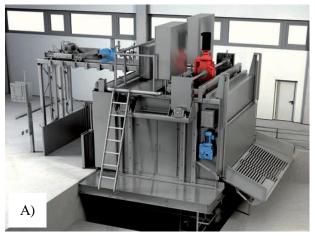




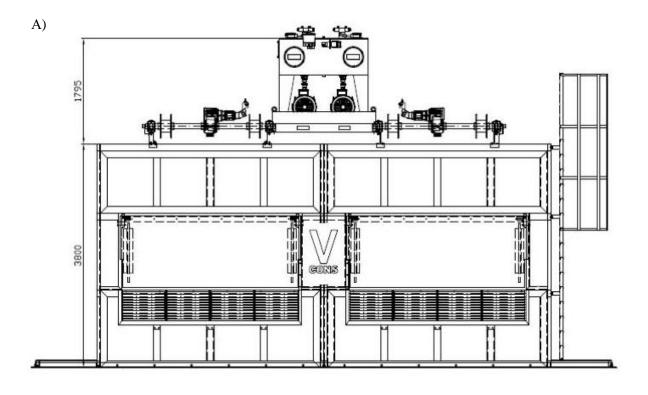
Рисунок 3 – Установка для газового обездвиживания «Frontmatec CO₂ stunning system»: А) общий вид; Б) приемная площадка для обездвиженных свиней [21]

Высокая производительность установок карусельного типа объясняется непрерывностью их работы: пока одни свиньи заходят в кабину, другие делают первую остановку в зоне действия углекислого газа (рис. 1, 2), третьи в это время испытывают воздействие максимальной концентрации углекислого газа в нижней точке шахты; параллельно происходит выгрузка обездвиженных свиней [18].

Бельгийская компания «V-Cons Group» разработала установку высокой производительности лифтового типа. Ее конструкция имеет две параллельно расположенные и независимые друг от друга кабины, подгон животных к которым осуществляется автоматическими щитами (рис. 4-5) [22].



Рисунок 4 — Приемная площадка для обездвиженных свиней установки для газового обездвиживания «V-Cons Group» [22]



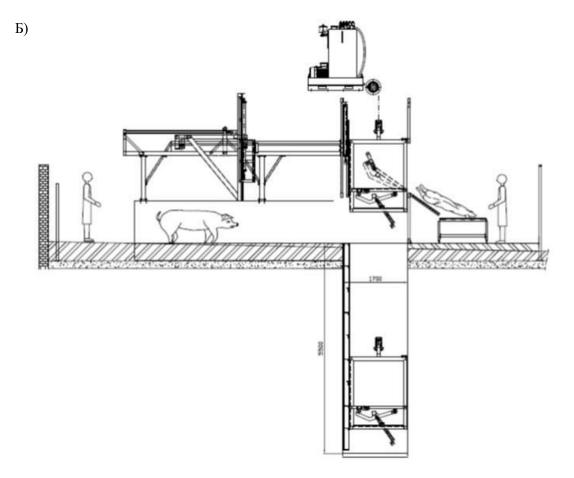


Рисунок 5 – Установка для газового обездвиживания «V-Cons Group»: А) вид спереди; Б) вид сбоку[22]

Установка имеет ряд преимуществ:

- свиньи максимально быстро попадают в зону высокой концентрации углекислого газа (в отличие от установки карусельного типа, технические остановки которой для погрузки/выгрузки свиней из других гондол неизбежны);
- площадь кабины для животных примерно равна площади кабин установок других производителей, однако «V-Cons Group» предполагает помещать в них в два раза меньше животных за один раз;
- глубина шахты меньше, чем для установки карусельного типа при той же производительности;
- существует возможность настройки различной скорости подгона в зависимости от индивидуальных особенностей свиней;
- при неполадках в одной из кабин, вторая будет продолжать работать независимо.

К недостаткам такого типа установок можно отнести:

- размещение установки требует большей площади цеха;
- обслуживание установки предполагает при подвешивании животных на путь обескровливания значительные перемещения рабочего в течение всей смены или наличие двух рабочих;
- при обслуживании установки одним рабочим, в случае задержки подвешивания группы свиней, обездвиженных в дальней от бойца кабине, новая группа свиней, выгруженных на приемный стол, должна быть подвешена и обескровлена раньше.

Конструктивные решения с использованием двух независимых кабин также представлены и у других производителей оборудования — например, установки «Somnia S2» («Banss») и «Butina Combi» («Marel»). Однако они имеют производительность не более 320 и 480 голов/ч, соответственно.

В табл. 3 приведены характеристики некоторых моделей установок для газового обездвиживания свиней вышеназванных производителей.

Таблица 3 – Характеристики установок для газового обездвиживания свиней производства компаний «Marel», «Banss», «Frontmatec», «V-Cons Group» [18-22]

Параметры	Наименование оборудования				
	Butina	Banss Somnia	Frontmatec	V-Cons	
	Backloader		CO ₂ stunning	Group	
	G3 RelaX		system		
	Характеристики				
Производительность,	288–1200	160–1200	145–1400	От 200	
голов/час					
Площадь гондолы, м ²	3,12-4,81	2,92–4,62	_*	4,76	
Количество свиней	6–10	4–10	_*	2x5	
в одной гондоле, голов					
Температура СО ₂ , °С	_*	20–25	20–30	_*	
Качество СО2	Высший сорт по ГОСТ 8050-85				
Время	100–150	140–170	_*	90	
обездвиживания, с					
Длина х ширина	3,5 x (2,4–3,5)	3,5 x (2,3–3,4)	_*	7,7x1,7	
шахты, м					
Глубина шахты, м	_*	3,8–8,3	_*	5,5	
Электропитание	_*	3х400 В, 50 Гц	400 В, 50 Гц	_*	
Воздух, нм ³ на голову	_*	_*	0,020-0,035	_*	
Расход СО2,	_*	_*	200-300	_*	
г на голову					
* Не заявлен изготовите	лем в качестве с	тандартной хараі	ктеристики.		

Европейское Агентство по безопасности продуктов питания (EFSA) на основании накопленных данных в 2004 году сообщило о том, что не существует идеального метода для оглушения и убоя сельскохозяйственных животных. Эта авторитетная организация, заботясь о благополучии животных (а оно неразрывно связано с качеством получаемого мяса), однозначно сделала вывод, что существует острая необходимость в дальнейших подробных исследованиях механизмов и эффектов различных методов оглушения, в том числе газового обездвиживания, а также в разработке на практике новых технических и организационных решений [23].

В настоящее время конструкторы и проектировщики разных стран занимаются совершенствованием технологии газового обездвиживания, предлагая новые технические решения и технологические приемы, действие которых направлено на минимизацию стрессового воздействия на животных [24].

Возбуждение животных перед обездвиживанием может являться причиной смерти животных в газовой камере, а также недостаточного обескровливания даже при работающем сердце. С целью дальнейшей минимизации влияния на свиней людей, а также исключения в последние минуты жизни животных возбуждения и физических нагрузок, негативно влияющих на качество мяса, нидерландское отделение «Stork MPS» (компания «Marel») предложило перемещать свиней через зону с углекислым газом на транспортере в газопроницаемых контейнерах, автоматизируя также процесс погрузки свиней в контейнеры и выгрузки из них (рис. 6) [25, 26].

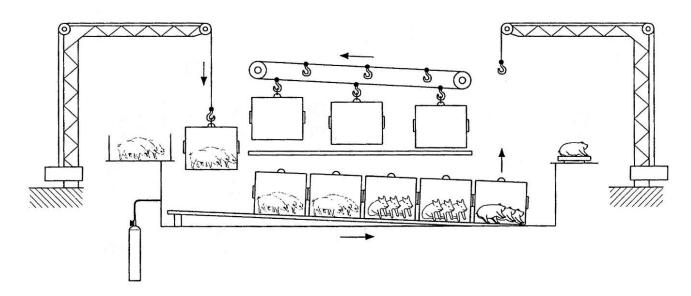


Рисунок 6 – Система обездвиживания свиней в контейнерах [25]

Свиньи чувствительны к углекислому газу, высокие концентрации которого вызывают у них резкие болезненные ощущения в глазах и на слизистых оболочках. Даже при высоких концентрациях углекислого газа свиньи сохраняют способность двигаться до 30 секунд. В этот момент животные имеют повышенную частоту сердцебиения, испытывают стресс, борются за свою жизнь и могут друг друга травмировать, осуществляя попытки выбраться. Чтобы

нивелировать эти явления, в Нидерландах была предложена автоматическая установка по применению газовой смеси с низкой концентрацией углекислого газа (около 40 %) в качестве предварительной стадии обездвиживания перед финальным электрообездвиживанием (время воздействия не менее 1 секунды, сила тока не менее 1А). Процесс обездвиживания происходит в ветвящемся модульном тоннеле, по которому свиньи перемещаются параллельно (рис. 7). Размер тоннеля может меняться в зависимости от производительности линии и скорости конвейера. Предварительное обездвиживание позволяет предотвратить возникновение стрессовых реакций у свиней при подгоне к электроустановке, а использование низкой концентрации углекислого газа, по мнению авторов, не сильного раздражающего действия, причиняет животным панического возбуждения, посмертных судорожных мышечных сокращений в результате гиперкапнии и др. [26].

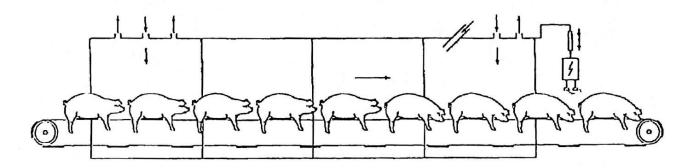


Рисунок 7 – Комбинированная система обездвиживания свиней при помощи CO₂ и электричества [26]

Негативное воздействие углекислого газа на свиней и их чувствительность к исследователей к разработке систем обездвиживания побудило использованием инертных газов. Спроектирована установка с двумя газовыми камерами, первая из которых заполняется аргоном, вторая — углекислым газом. После прохождения через среду аргона предварительно обездвиженных свиней автоматически подвешивают на подвесной путь и транспортируют в камеру, По заполненную углекислым (рис. 8). мнению разработчиков, газом обездвиживание в подвешенном состоянии позволяет нивелировать негативный эффект выражающийся применения аргона, возможном появлении

кровоизлияний в тазобедренной части туши, и снизить финансовую нагрузку на предприятие при применении более дорогостоящего по сравнению с углекислым газом аргона [27].

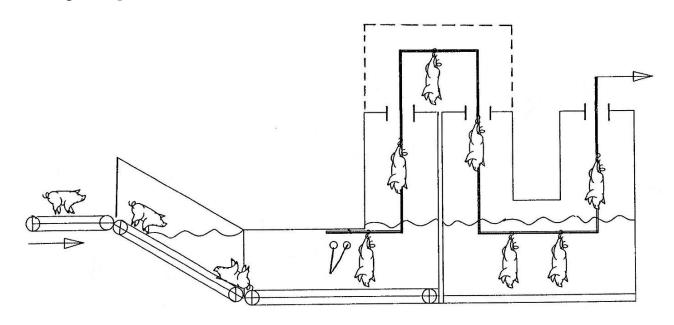


Рисунок 8 – Система двухстадийного обездвиживания свиней при помощи Ar и CO₂ [27]

В 2013 году датское отделение «Banss» («Banss Schlacht & Foerdertech») спроектировало установку с двумя газовыми камерами, но имеющую значительные конструктивные отличия ПО сравнению c вышеописанной установкой. В качестве газа для предварительного обездвиживания использован гелий, который, как известно, легче воздуха. Соответственно, камера А с гелием расположена зеркально относительно камеры В с углекислым газом (рис. 9). Кабины со свиньями посредством конвейера перемещаются согласно стрелкам на рисунке – сначала в камеру с гелием с постепенным увеличением концентрации (время воздействия – 80-90 секунд), затем в камеру с углекислым газом для завершения процесса обездвиживания (время воздействия – 100-110 секунд). Доказано, что использование гелия в качестве обездвиживающего агента положительно сказывается на благополучии свиней и качестве мяса [28]. В предлагаемой системе конвейер с кабинами замкнут, и после выгрузки свиней пустые кабины возвращаются к зоне погрузки и началу нового круга, что обеспечивает высокую производительность установки [29].

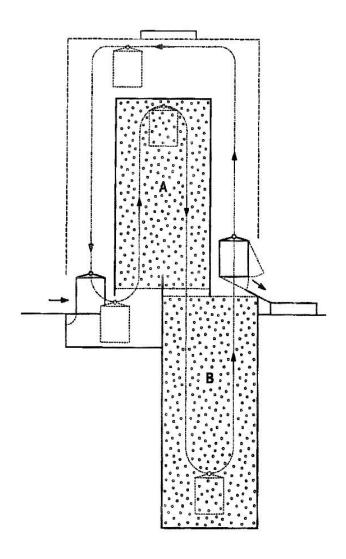


Рисунок 9 – Система двухстадийного обездвиживания свиней с Не и СО₂ [29]

Следующим проектировании шагом систем многостадийного обездвиживания стало применение многокомпонентных смесей. В 2018 году ввести Датским технологическим институтом было предложено предварительного обездвиживания свиней с применением смеси газов в низких концентрациях (от 1 до 26 % O_2 , от 1 до 40 % CO_2 и от 1 до 75 % N_2O ; оставшейся частью смеси может выступать воздух, однако важно чтобы концентрация O_2 не поднималась выше 26 %) с последующим этапом окончательного обездвиживания в атмосфере СО₂ с концентрацией свыше 70 % [30]. Система предполагает значительную экономию за счет возможности возврата неиспользованного газа обратно в баллоны. Также возможность такой закачки остатков предусмотрели разработчики британской системы для использования готовых газовых смесей для обездвиживания (компания «Gallus Solutions») [31, 32].

Стремление сделать обездвиживание наиболее гуманным, и вместе с тем улучшить качество мяса, приводит К поиску новых нестандартных технологических решений. Так, в 2016 году американский и итальянский изобретатели Cheek и Cattaruzzi предложили принципиально новую установку, предполагающую использование низкого атмосферного давления с добавлением инертного газа или без него. Животных помещают в камеру цилиндрической формы, камера герметизируется, после чего давление в ней уменьшается согласно заданной кривой до достижения целевого значения и поддерживается на этом уровне в течение заданного периода времени, пока животные не погибнут. Создатели установки утверждают, что убой при низком атмосферном давлении является наиболее гуманным по сравнению с традиционными методами убоя, и, несмотря на то, что смерть животных происходит раньше начала процесса обескровливания, декларируют превосходное качество полученного способом мяса [33].

Как следует из представленного обзора патентной и научно-технической литературы, вопрос о наилучшем способе убоя животных до сих пор остается открытым. Как механический и электрический способы обездвиживания, так и газовое обездвиживание требуют продолжения научных исследований [34]. Это подтверждает активное патентование новых технических решений в области обездвиживания животных при убое в последние годы в разных странах мира.

Особенностью работы мясной промышленности является тот факт, что сырье — это живые животные. В связи с этим, выбираемые технические характеристики оборудования для обездвиживания, несомненно, важны с точки зрения организации работы предприятия, но не менее важно понимание условий проведения технологического процесса в целом с позиции благополучия животных. Вне зависимости от способа обездвиживания его правильное применение требует серьезной работы по отладке всех операций, начиная от транспортирования животных.

При комплектовании убойного цеха установкой для газового обездвиживания необходимо учитывать, что конструктивные особенности этого оборудования, наряду с требуемой производительностью, должны:

- обеспечить максимально короткое расстояние подачи животных от базы предубойного содержания до места убоя;
- исключать активные движения животных непосредственно перед убоем и в момент убоя;
- позволять снизить возбуждение нервной системы животных и исключать возникновение стресса при подаче к установке и при нахождении в кабине;
 - исключать травмирование скелета животных;
- исключать появление побитостей и повреждений шкуры, в том числе в результате травмирования животных друг другом;
- исключать вываливание оглушенных животных (за счет конструктивногеометрических характеристик);
- позволять обеспечить оптимальный уровень освещенности пути подгона животных;
 - обеспечивать оптимальных уровень шума при работе (не более 40 Дб);
 - обеспечивать удобство и доступность для санитарной обработки;
- обеспечивать непрерывность работы и желаемый ритм для выполнения последующих технологических операций;
- облегчать труд рабочих, занятых подгоном животных при подаче на обездвиживание и при наложении путовых цепей после выгрузки [11, 12].

1.3 Влияние прижизненных факторов на благополучие свиней

Во всем мире ученые пытаются связать эффективность обездвиживания и, как следствие, качество и безопасность продуктов убоя с различными прижизненными факторами, потенциально влияющими на благополучие убойных животных. Среди этих факторов как эндогенные (половая и породная принадлежность [35-37], наличие галотанового гена [38], состояние здоровья [39]), так и экзогенные (условия транспортирования, погрузки, разгрузки и

предубойной подготовки [36-38, 40-51], сезонность, способ обездвиживания [52], температура и влажность в камере обездвиживания [35, 53], состав и параметры применения газовых смесей [54, 55] и пр.), изучают и такие показатели, как уровень шума во время предубойного содержания [56]. Ниже приведены более подробные сведения о некоторых исследованиях.

Мота-Rojas D. с соавт. провели исследования с целью оценки двух стрессовых раздражителей: длительного транспортирования и воздействия углекислого газа с концентрацией 80% на обменные процессы и гемодинамику свиней. Доказано, что некастрированные свиньи более чувствительны к транспортному стрессу и воздействию углекислого газа по сравнению с кастрированными [57]. Результаты этой и других подобных работ свидетельствовали о том, что оба раздражителя вызывают метаболические и физиологические нарушения [58-62].

Velarde A. с соавт. оценили влияние способа обездвиживания генетической предрасположенности к стрессу на качество мяса. Исследования были проведены на 313 свиньях (из них 127 не имели галотанового генам (NN), и 186 были гетерозиготны по галотановому гену (Nn)). Убой свиней проводили с различных способов обездвиживания: использованием при помощи автоматической установки для электрообездвиживания, дающей разряд вначале только на голову, затем на голову и грудину; и автоматической установки для обездвиживания углекислым газом. Появление мяса с пороком PSE на бойне, оснащенной установкой для электрообездвиживания, отмечено с большей частотой по сравнению с бойней, оснащенной газовой установкой (35,6% против 4,5%). Кроме того, при электрообездвиживании увеличилось количество случаев появления петехий и экхимозов на пояснице и тазобедренной части туши [63], что согласуется с результатами исследований Channon H.A. с соавт. и другими [64-66]. На основании масштабного тестирования 52468 свиней на 42 бойнях в Португалии, Италии, Финляндии, Бразилии и Испании, проведенного Dalmau A. с соавт., наличие чувствительности после обездвиживания чаще имело место при использовании электрического тока, чем углекислого газа [67].

Появление порока PSE выше у свиней, гетерозиготных по галотановому гену (Nn) — 24,7% по сравнению 7,9% у свиней, лишенных галотанового гена (NN). Было высказано предположение, что для повышения качества мяса и уменьшения количества кровоизлияний следует избегать применения электрообездвиживания. В то же время свиней, имеющих галотановый ген, не рекомендуется отправлять на бойни, использующие газовое обездвиживание [68-70].

Van de Perre V. с соавт. провели исследования показателей качества свинины, связанных с условиями транспортирования, разгрузки, предубойной подготовки, обездвиживанием и первичной переработки. Анализ полученных данных показал, что величина рН зависит от четырех основных факторов риска: сезона года, степени загруженности транспорта, уровня шума, производимого во время разгрузки, и использования электропогонялок. Отмечено уменьшение количества туш с пороком PSE в летний период года, а также сделано предположение о том, что из изученных факторов условия предубойной подготовки оказывают наиболее сильное влияние на стрессовое состояние свиней и возникновение порока PSE свинины [71].

Проанализированные исследования свидетельствуют о том, что изучение обездвиживания невозможно без учета множества прижизненных факторов, включающих как свойства самих животных, так и внешние воздействия [72].

1.4 Влияние газового обездвиживания на качество мяса и субпродуктов

Одним из вопросов, неизменно волнующих исследователей и производителей свинины, является возможное влияние способа обездвиживания на качество продуктов убоя, и прежде всего мяса.

С самого начала внедрения газового обездвиживания его сравнивали с более традиционным способом обездвиживания электрическим током. Channon H.A. и соавт. провели сравнительные исследования влияния на качество свинины применения обездвиживания с использованием ручной электроустановки и установки с углекислым газом. Потери влаги и частота появления порока PSE в

мышце Longissimus dorsi et lumborum оказались ниже при применении газового обездвиживания. Количество кровоподтеков, экхимозов и переломов костей при применении газового обездвиживания также уменьшилось [73]. Отсутствие влияния способа обездвиживания на конечную величину рН свинины, установленное в данном эксперименте, подтвердило результаты более ранних исследований [64, 74].

Более поздний эксперимент Marcon A.V. и соавт. по сравнению газового и электрического способов обездвиживания не подтвердил их влияния на такие показатели качества мяса, как pH_{24} , потерю влаги, окисление жиров, усилие резания и выявление пороков PSE/DFD. Мышца m. Longissimus lumborum свиней, обездвиженных при помощи электричества, имела более высокое значение L* (светлоты), более высокие потери при термической обработке и более низкие значения pH_{45} по сравнению со свиньями, обездвиженными при помощи углекислого газа. Подтверждено увеличение количества переломов костей и повреждений туш, а также большее кровенаполнение печени и почек при заключении применении электрообездвиживания. В статьи сделано предположение о пользе газового обездвиживания с экономической точки зрения, так как его использование позволило сократить потери за счет снижения количества туш с дефектами [75].

мясокомбинатах Эксперимент способами на трех разными обездвиживания свиней и охлаждения туш показал, что свинина, полученная с применением газового обездвиживания и охлажденная классическим способом, имела более бледный цвет (2,8 против 2,9 и 3,0 по японской цветовой шкале на заводах с электрообездвиживанием и ускоренным и классическим охлаждением, соответственно) и большие капельные потери (5,2% против 4,8% и 4,9%, соответственно). Исследователями был сделан вывод о том, что параметры технологических процессов на мясокомбинатах могут влиять на качество мяса [76, 78]. Корреляция между показателями, измеренными сразу после убоя, и показателями охлажденного мяса была низкой, что согласуется с результатами, представленными в работе Fischer K.J. с соавт. [78].

Противоречивые данные, полученные исследователями двух разных способов обездвиживания, свидетельствуют о невозможности сделать заключение о вреде или пользе применения газового обездвиживания для получения свинины высокого качества, не принимая во внимание другие факторы.

Помимо способа обездвиживания, большой интерес у исследователей вызывают режимы подачи углекислого газа и время экспозиции животных.

В ходе экспериментов Nowak В. и соавт. установили, что режимы обездвиживания с концентрацией CO_2 80 % в течение 70/100 с вызывали у свиней стресс, о чем свидетельствовали высокие уровни лактата и низкие значения величины pH_{24} (5,4 в *т. L. dorsi* и 5,5 в *т. Semimembranosus*). Воздействие CO_2 концентрации 80/90 % в течение 100 с было признано приемлемым для благополучия животных. Концентрация CO_2 80 % приводила к более низким значениям величины pH_{24} по сравнению с 90 % [79].

Bolaños-López D. и соавт. провели эксперимент по обездвиживанию 1336 свиней с применением концентраций СО₂ 85/90/95 %. Каждую группу делили еще на две подгруппы: обескровленных в течение 60 с после выхода из камеры обездвиживания без восстановления чувствительности; обескровленных после 60 с после выхода из камеры обездвиживания с восстановлением чувствительности. Свиньи, чувствительность которых восстановилась, имели более низкую величину рH и более высокие уровни Ca^{2+} (>1,59 ммоль/л), глюкозы (>159,79 мг/дл)лактата (>103,52 мг/дл). Таким образом, И во время обескровливания, когда свиньи приходили в сознание, возникал значительный метаболический и энергетический дисбаланс. Авторы статьи пришли к заключению о том, что обескровливание должно быть выполнено немедленно после того, как свиньи будут выгружены из камеры СО₂ [80].

Помимо режимов применения углекислого газа, используемого повсеместно на коммерческих бойнях, интерес для изучения представляют смеси других газов, в том числе с добавлением углекислого газа или инертных газов [81].

Llonch P. с соавт. в ходе эксперимента с 68 свиньями оценивали влияние воздействия газовых смесей: 70% азота (N_2) и 30% CO₂ (далее – 70N30C); 80% N_2

и 20% CO_2 (далее – 80N20C); 85% N_2 и 15% CO_2 (далее – 85N15C) на возникновение аверсивных реакций, эффективность обездвиживания и качество мяса свиней, а также сравнивали их с промышленной газовой смесью для обездвиживания с концентрацией СО2 90% (далее – 90С). Свиньи, подвергнутые воздействию 90С, показали более высокую частоту попыток к бегству и приступов удушья, более низкую частоту вокализации и более короткие фазы мышечного возбуждения, чем свиньи, подвергшиеся воздействию других смесей. После обездвиживания ни у одной свиньи, подвергшейся воздействию 90С, не наблюдалось роговичного рефлекса или ритмичного дыхания, тогда как у 85% и 92% животных, подвергнутых воздействию смесей N_2 и CO_2 , наблюдались роговичный рефлекс и ритмичное дыхание, соответственно. Туши животных после воздействия 80N20C и 85N15C имели более низкий pH_{45} , чем 90C (P<0,01). Электропроводность в мышце m. Semimembranosus была ниже (P < 0.001) у свиней 90С и 70N30С, чем у свиней 80N20С и 85N15С, тогда как в m. Longissimus thoracis она была ниже (P<0,05) у свиней 90C, чем у свиней 85N15C. По мере снижения концентрации СО2 в газовой смеси частота возникновения экссудативной свинины увеличивалась. 25% животных, подвергшихся воздействию смесей N2 и СО2, имели экхимозы, в то время как ни одно животное, обездвиженное с использованием 90С, не имело экхимозов. Было сделано заключение о том, что, хотя воздействие смесями азота и углекислого газа вызывает меньше аверсивных реакций, чем 90С, интервал времени от начала воздействия до потери сознания для них составляет больше, что может негативно сказаться на качестве туш [82].

Существуют предположения о том, что заболевания дыхательной системы могут иметь влияние на эффективность газового обездвиживания. Пневмонию у свиней часто выявляют во время послеубойного осмотра, что вызывает опасения по поводу задержки потери чувствительности из-за затрудненного газообмена в легких. Fries R. с соавт. изучали влияние разных режимов газового обездвиживания на двух разных мясокомбинатах на показатели крови и состояние легких свиней. Роговичный рефлекс наблюдался у 6,2% свиней на мясокомбинате А и у 17,1% свиней на мясокомбинате В. Корреляции между поражением легких и

состоянием крови не наблюдалось, однако для некоторых индивидуальных хозяйств наблюдалась значительная корреляция между пневмонией и роговичным рефлексом [83].

1.5 Перспективы риск-менеджмента в мясной промышленности

Уверенный рост российского свиноводства в настоящее время привел к ужесточению конкуренции внутри страны и на экспортных рынках. Новые вызовы, обязывающие производителей держать цену и планку качества, приводят к совершенствованию инструментов управления и возрастанию роли гибридного подхода к решению производственных задач.

Специфика производства мяса состоит в том, что сырьем являются живые животные, и характеристики этого сырья подвержены постоянным множественным изменениям, контроль над которыми значительно затруднен, при этом такие изменения зачастую носят необратимый характер. От результата обездвиживания зависит эффективность обескровливания туш животных, а значит, риски безопасности и качества [84].

Согласно российским стандартам в области управления рисками процесс менеджмента риска предполагает систематическое применение политик, процедур и действий по обмену информацией и консультированию, а также по оценке, обработке риска, мониторингу, пересмотру, документированию рисков и подготовки отчетности (рис. 10) [85, 86]. Оценка риска включает в себя идентификацию риска, анализ риска и сравнительную оценку риска (оценивание риска) [87].

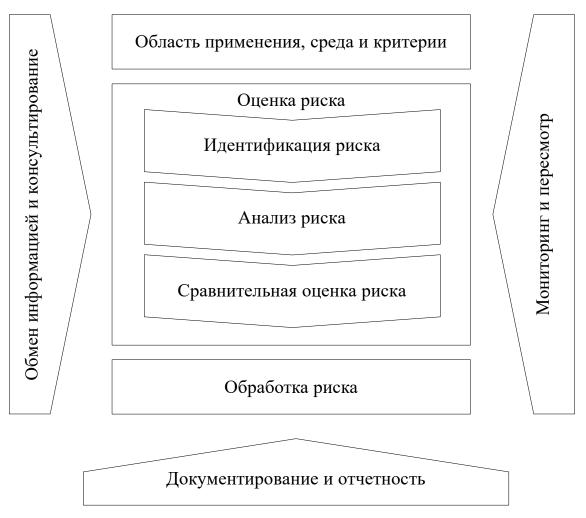


Рисунок 10 – Процесс менеджмента риска

Риск-ориентированный подход в мировой практике чаще всего применяется к показателям безопасности сырья и готового продукта или аспектам здоровья человека и ветеринарного благополучия животных [88-90]. В то же время невозможно говорить о рисках, которые несет готовый продукт, без учета рисков сырья и рисков, приобретаемых во время технологического процесса производства [91, 92].

1.6 Заключение по обзору источников литературы

Промышленное оборудование для газового обездвиживания, несмотря на конструктивные отличия, имеет единый принцип работы. Активным компонентом газовой смеси, применяемой на промышленных убойных предприятиях за рубежом, является углекислый газ. В то же время эффективность процесса газового обездвиживания может зависеть от многих внутренних и внешних

факторов, начиная от параметров оборудования и заканчивая особенностями поголовья, которые необходимо учитывать при обращении к этому способу обездвиживания.

Риск-менеджмент может быть применен к любому продукту или процессу, и наибольшее распространение этот подход получил в сфере управления опасностями, однако его применение в операционном контроле (в контексте настоящей диссертационной работы — попытку регулирования процесса газового обездвиживания через управление рисками) справедливо можно считать перспективным.

На основании проведенного обобщения литературных источников и анализа проблематики применения газового обездвиживания свиней были сформулированы цель и задачи экспериментальной части диссертационной работы (см. раздел «Введение»).

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

При проведении работы объектами исследования являлись:

- крысы-самцы стока Wistar spf-категории $(N=34)^*$;
- образцы крови, внутренние органы, мышечная ткань крыс;
- свиньи пород крупная белая, ландрас, дюрок, йоркшир и их гибриды (N=769);
 - 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*).

2.2 Условия проведения экспериментальных исследований

Исследования на лабораторных животных проводились в условиях экспериментальной клиники-лаборатории БАВ животного происхождения ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Исследования на продуктивных животных и продуктах убоя проводились на 3AO «Свинокомплекс промышленных предприятиях «Короча» (АПХ «Мираторг», Белгородская обл.), Данковского филиала ОАО «ЧМПЗ» (ПАО «Группа Черкизово», Липецкая обл.), ООО «Ишимский мясокомбинат» (Агрохолдинг «Юбилейный», Тюменская обл.), ООО «АгроПромкомплектация-Курск» (ГК «АгроПромкомплектация», Курская обл.), ООО «Тамбовский бекон» обл.), АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» (ГК «Русагро», Тамбовская (АХ «Йола», республика Марий Эл); в условиях отдела научно-прикладных и технологических разработок, направления микробиологии И лаборатории «Научно-методические работы, биологические и аналитические исследования» ФГБНУ «ФНЦ им. В. М. Горбатова» РАН. Исследование крови продуктивных животных проводилось В экспериментальной клинике-лаборатории БАВ

*

^{*} В эксперименте с участием лабораторных животных использовано минимально допустимое их количество в соответствии с применяемым методом статистической обработки получаемых результатов.

животного происхождения ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН и ГАУ ТО «Ишимский межрайонный центр ветеринарии».

2.3 Организация экспериментальных исследований

Взаимосвязь этапов и порядок выполнения работ приведены на рис. 11.



Рисунок 11 – Схема проведения исследований

2.4 Методы исследований

2.4.1 Методы исследований, применявшиеся в опытах на лабораторных животных

Условия вивария, в которых животные проходили адаптацию: температура (20±2 °C), влажность (48±2 %), освещение 12/12 — световой день с 6:00 до 18:00. На протяжении эксперимента животные потребляли полнорационный комбикорм *ad libitum* по ТУ 9296-002-70941247 (Лабораторкорм, Россия) и питьевую воду.

Поведенческий тест «открытое поле» представлял собой прямоугольную камеру размером 100×100 см со стенками высотой 40 см. Пол и стенки камеры белого цвета, пол расчерчен на 25 равных квадратов, в центре каждого из которых расположено отверстие диаметром 3 см. Во время теста животное помещали в центральный квадрат арены, действия и перемещения животного фиксировали при помощи видеокамеры (GoPro, США). В течение 3 минут регистрировали горизонтальную и вертикальную двигательную активность, латентный период выхода в центр арены (ЛПЦ), замирание животных, общее время груминга, обследование животными отверстий («норковый рефлекс») и вегетативные показатели (количество актов дефекации). Камеру тщательно мыли после каждого теста [93, 94].

Содержание, питание, уход за животными, манипуляции, выведение их из экспериментов осуществляли в соответствии с требованиями Приказа МЗ РФ № 199н от 01.04.2016 г. «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», Приказа МЗ СССР № 742 от 13.11.84 г. «Об утверждении правил проведения работ с использованием экспериментальных животных», Международными правилами гуманного обращения с животными — Директивой 2010/63/ЕU Европейского Парламента и Совета Европейского Союза, Правил надлежащей лабораторной практики (GLP) и Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [95].

Воздействие газами и газовыми смесями на животных проводили в камере для эвтаназии (VetTech, Великобритания), помещая в нее по одному животному, до потери животным чувствительности.

Физиологические реакции животных во время первого воздействия классифицировали как событийные (описывающие характер действия) и ориентационные (характеризующие положение тела крысы в пространстве). Реакции оценивали визуально, фиксируя с помощью видеокамеры (GoPro, США) с момента помещения животного в камеру и подачи газовой смеси до момента полной потери животным чувствительности. Этограмма, используемая для оценки поведения крыс во время экспериментов, представлена в табл. 4.

Таблица 4 – Этограмма оценки поведения крыс во время экспериментов

Реакции	Описание			
СОБЫТИЙНЫЕ				
Обнюхивание	Подъем головы и обнюхивание, считается первым признаком			
	того, что животное почувствовало газовую смесь в атмосфере			
Вдыхание	Вдыхание воздуха из верхних слоев атмосферы камеры,			
воздуха из	наименее насыщенных газовой смесью, преимущественно			
верхней части	стоя на задних лапах (вертикальные стойки)			
камеры				
Груминг	Активные движения, направленные на очищение			
	поверхности кожи и шерсти (умывание, почесывание)			
Глубокие вдохи	Глубокие вдохи с нормальной периодичностью			
Попытка бегства	Повышение двигательной активности, движение по			
	периметру камеры, вертикальные стойки с опорой на стенку			
	камеры и прыжки на нее			
Частичная потеря	Вертикальные стойки с опорой на стенку камеры с частичной			
устойчивости	потерей равновесия			
Потеря	Нахождение в лежачем положении с полной потерей			
устойчивости	контроля над положением туловища			
Частые вдохи	Неглубокие частые вдохи с учащенной периодичностью			
Поднимание	Движения головой вверх, одновременно с глубокими			
головы	вдохами			
Мышечные	Разнообразные резкие движения тела и лап, от энергичных			
сокращения	движений до клонических судорожных припадков			
Мышечные	Уменьшение напряжения мышц после их сокращения во			
расслабления	время двигательной активности животных			

Окончание таблицы 4

Реакции	Описание				
	СОБЫТИЙНЫЕ				
Потеря	Состояние, противоположное сознательному состоянию, при				
чувствительности	котором животное не реагирует на внешнюю стимуляцию				
	(первая стадия анестезии)				
Апноэ	Временная остановка дыхательных движений (вторая стадия				
	анестезии)				
	ОРИЕНТАЦИОННЫЕ				
Стоячее	Нахождение в вертикальном положении без движения, все				
	четыре лапы находятся на полу камеры				
Ходьба	Движение в прямом направлении				
Сидячее	Нахождение в сидячем положении				
Лежачее	Нахождение в лежачем положении, с возобновлением				
	частичного контроля над положением туловища (например,				
	поднятие головы)				

Частоту сердечных сокращений (ЧСС) во время воздействия газов определяли непрерывно с помощью пульсиметра, зафиксированного на животном, данные пульсиметра обрабатывали дистанционно с помощью программного обеспечения (Хіаоті, Китай). Исходя из физиологических норм ЧСС для крыс, был произведен пересчет данных с помощью коэффициента, равного 3,2 [96]. Время с момента извлечения животных из камеры до возобновления чувствительности фиксировали с помощью механического секундомера (Агат, СССР). Отсутствие чувствительности после воздействия и ее возобновление проверяли после извлечения крыс из камеры путем укола подушечек задних лап. Декапитацию животных проводили при помощи гильотины (Открытая наука, Россия).

Состояние внутренних органов оценивали макроскопически, после взвешивания внутренних органов (печени, почек, селезенки, сердца, легких, надпочечников и головного мозга) на электронных весах (AcculabVicon, США) с точностью $\pm 0{,}001$ г рассчитывали их относительную массу в процентах к массе животного.

Сыворотку крови для биохимических исследований готовили следующим образом: собранную кровь отстаивали в стеклянных пробирках в течение 20 минут до образования сгустка, отделение сыворотки производили на

центрифуге СМ-6М (ЕLMI, Латвия) при 3500 об/мин в течение 8 минут. Биохимические исследования крови, включающие определение содержания триглицеридов, глюкозы, общей лактатдегидрогеназы (ЛДГ), креатинфосфокиназы (КФК) и креатинина, проводили на автоматическом анализаторе BioChem FC-360 (НТІ, США) в соответствии с методиками, приложенными к реактивам (НТІ, США).

От тушек животных отбирали образцы печени и мышечной ткани, которые измельчали и подвергали экстракции, далее проводили центрифугирование и исследовали показатели антиокислительного стресса (определяли содержание малонового диальдегида (МДА), супероксиддисмутазы (СОД), антиокислительную активность (АОА) и активность каталазы) согласно [97].

2.4.2 Методы исследований, применявшиеся в опытах на продуктивных животных

Живую массу животных определяли на платформенных весах Реус (Тензосила, Россия), прошедших поверку и имеющих погрешность ± 0.5 кг.

Наличие травмированных при подгоне к камере обездвиживания животных определяли визуально во время наблюдения за подгоном и во время внешнего осмотра туш после выхода из камеры; дополнительным сигналом служила вокализация животных.

Наличие задержки при разгрузке и подаче животных на обескровливание определяли при помощи секундомера (Агат, СССР), фиксируя время с момента выхода животных из зоны воздействия газа до момента закола.

Результат процесса обездвиживания свиней оценивали следующим образом: обездвиживание считалось успешно проведенным, если у животного отсутствовали признаки чувствительности и имели место сердечные сокращения.

Частоту сердечных сокращений (ЧСС) определяли с помощью ветеринарного пульсоксиметра Storm 5000 vet (Dixion, Китай), прикрепляя датчик к уху животного после выхода из камеры газового обездвиживания (рис.12).



Рисунок 12 – Определение ЧСС свиней после обездвиживания

Гибель животных определяли по сигналу пульсоксиметра о том, что ЧСС находится ниже порогового значения в 30 уд./мин., трехкратно устанавливая датчик в другой области уха для исключения ошибки измерения вследствие поверхностного загрязнения кожи или отсутствия крупного сосуда в области крепления датчика.

Признаки чувствительности у свиней определяли визуально, аудиально и инструментально. При обследовании каждой головы комбинировали органолептические тесты с одним из инструментальных тестов. Описание тестов для определения наличия или отсутствия чувствительности после проведения обездвиживания представлено в табл. 5.

Таблица 5 – Тесты для определения наличия/отсутствия чувствительности у свиней

Метод	Объект	Результат	Примечание
контроля	теста		
Визуальный	Дыхание	Ритмичное	Допустимо наличие агонального
		дыхание	неритмичного дыхания (редкого и
		отсутствует	беспорядочного заглатывания
			воздуха), не являющегося
			признаком возвращения к сознанию
Визуальный	Положение	Положение	Туловище животного должно
	туловища	туловища	находиться в расслабленном
		спокойное	состоянии, уши неподвижны,
			челюсти разомкнуты, язык высунут
Визуальный	Движения	Произволь-	Обездвиженное или мертвое
	конечностей	ные	животное может демонстрировать
		движения	рефлекторные несогласованные
		отсутствуют	движения одной-двумя
			конечностями, которые не следует
			путать с координированными
			движениями всеми конечностями
Аудиальный	Вокализация	Вокализация	Животное не должно издавать
		отсутствует	никаких звуков
Инструмен-	Укол в	Реакция	Укол острым предметом в пятачок
тальный	пятачок	отсутствует	не должен вызывать реакции
Тактильный	Щипок за	Реакция	Щипок пальцем за ухо не должен
	yxo	отсутствует	вызывать реакции
Тактильный	Роговичный	Реакция	Прикосновение пальцем к глазу не
	рефлекс	отсутствует	должно вызывать реакции

Кровь отбирали во время обескровливания и помещали в пробирки с этилендиаминтетраацетатом (ЭДТА). Отделение плазмы крови производили на центрифуге СМ-6М (ЕLМІ, Латвия) при 3500 об/мин в течение 8 минут. Биохимические исследования крови, включающие определение содержания триглицеридов, глюкозы, ЛДГ, КФК и креатинина, проводили на автоматическом анализаторе BioChem FC-360 (НТІ, США) в соответствии с методиками, приложенными к реактивам (НТІ, США).

Величину рН и температуру определяли в длиннейшей мышце спины между пятым и шестым грудными позвонками при помощи рН-метра Testo 205 (Testo, Германия). При проведении измерений электрод погружали в толщу мышечной ткани на глубину не менее 3 см. За окончательный результат принимали среднее

арифметическое значение трех единичных измерений, расхождение между предельными значениями трех результатов измерений не превышало 0,15 ед. рН.

Для получения смывов с туш применяли губки для смывов (3M, США). Смывы брали с задней и средней части полутуш, проводя губкой по внутренней поверхности тазобедренной части и ребер, а также с передней части, проводя по внутренней поверхности шейной части.

Определение количества мезофильных аэробных и анаэробных микроорганизмов (далее – КМАФАнМ) проводили по ГОСТ 10444.15.

Родовой состав микроорганизмов определяли с использованием MALDI ТОF масс-спектрометрии.

При осмотре внутренних органов (сердца, легких, печени) оценивали степень кровенаполнения тканей и сосудов, наличие сгустков крови в камерах сердца, для легких дополнительно оценивали наличие гемоаспирации.

Качество обескровливания животных оценивали по степени кровенаполнения внутренних органов (сердца, легких, печени), состояния туш и при помощи гистологического исследования тканей.

Степень кровенаполнения внутренних органов классифицировали следующим образом:

- низкая: на разрезе тканей визуально определено кровенаполнение на отдельных участках, при надавливании кровь не выступает;
- средняя: на разрезе тканей визуально определено кровенаполнение, при надавливании выступает кровь; кровеносные сосуды кровенаполнены;
- высокая: на разрезе тканей визуально определено значительное кровенаполнение, кровь вытекает без надавливания; кровеносные сосуды значительно наполнены кровью.

Состояние туш оценивали визуально, отмечая:

- наличие гематом, выраженной «сетки» кровенаполненных сосудов на коже и кровенаполнения внутренних сосудов, в том числе со сгустками;
 - наполнение суставной сумки кровью или инфильтратом;
 - наличие сгустков крови по позвоночному столбу;

– окрашивание жира кровью, наличие на нем кровоизлияний.

Потери массы туш при охлаждении определяли как отношение разности массы парных и охлажденных туш к массе парных туш, выраженное в процентах. Массу парных и охлажденных туш определяли на монорельсовых весах (Тензо-М, Россия), прошедших поверку и имеющих погрешность $\pm 0,1$ кг.

Цвет мышечной ткани определяли с помощью спектрофотометра CM-2300d (Konica Minolta, Япония) в системе CIELab (L – светлота, а – краснота, b – желтизна). Все измерения проводили на свежем поперечном срезе мышцы *L. dorsi* при источнике освещения D65 (стандартный дневной свет) с углом наблюдения 2°, каждое измерение проводили трехкратно.

Исследование микроструктуры образцов проводили по ГОСТ 19496.

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 33319.

Для определения уменьшения массы образцов мышечной ткани в процессе хранения («капельных потерь») отбирали образцы длиннейшей мышцы спины (L. dorsi) через 24 часа после убоя животных. Далее из длиннейшей мышцы спины вырезали перпендикулярно расположению мышечных волокон образцы, которые взвешивали на аналитических весах И помещали промаркированные пластиковые стаканы с крышками для отбора проб. Образцы помещали в стаканы без сдавливания. Стаканы с образцами герметично закрывали и хранили в холодильнике при температуре 0-плюс 8 °C в течение 24 часов. Через 24 часа на аналитических весах определяли массу образцов без мясного сока, для осущения поверхности образцы промакивали фильтровальной бумагой без сдавливания. По разности масс образцов определяли массу выделившегося сока и рассчитывали потери мясного сока в процентах к изначальной массе образца.

Влагоудерживающую способность определяли методом Грау и Хамма в модификации ВНИИМП [98].

2.4.3 Методы оценки рисков и статистическая обработка

Оценку рисков, в том числе идентификацию, анализ и обработку результатов анализа с целью принятия решений, проводили в соответствии с [85].

Первичную идентификацию рисков проводили на основе анализа законодательной и нормативной документации, устанавливающей требования к проведению гуманного убоя животных, а также к качеству и безопасности мяса. Для этого был разработан алгоритм (рис. 13) [99].

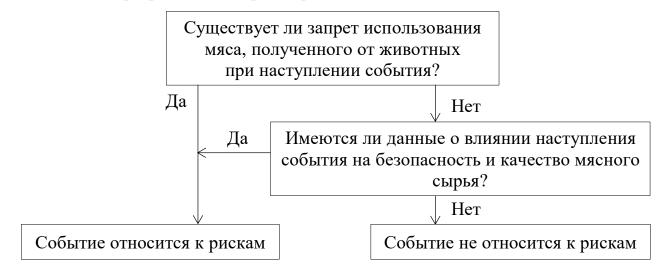


Рисунок 13 – Алгоритм идентификации рисков, связанных с процессом обездвиживания

Последующую идентификацию рисков проводили по результатам мониторинга промышленных предприятий.

Вероятность (Р) реализации рисков (нежелательного события) и вероятность реализации его последствий оценивали по результатам мониторинга промышленных предприятий 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.

Для определения возможных источников риска использовали построение причинно-следственной диаграммы Исикавы [86].

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

Анализ и окончательную обработку результатов оценки риска проводили по [99].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0. Результаты представляли в виде $M_{\text{среднее}}$ (среднее взвешенное значение измеряемой величины) $\pm s$ (стандартная ошибка среднего). Результаты поведенческого теста в условиях «открытого поля» приводили в виде P_{25-75} (25-й и 75-й процентили). Достоверность различий средних величин, удовлетворяющих условиям нормального распределения и равенству дисперсий, оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Изучение влияния параметров газовой смеси на состояние лабораторных животных

Из анализа научно-технической литературы и патентов следует, что, несмотря на то, что газовое обездвиживание применяется с конца 60-х годов прошлого века, оно по-прежнему остается объектом изучения и научных дискуссий специалистов по убою во всем мире. При этом мнения ученых относительно технологии, оптимальной с позиции благополучия животных, включая параметры газовой смеси, разнятся.

В этой связи изучение физиологических реакций животных на воздействие газовыми смесями представляло научный и практический интерес. Вследствие невозможности организации подобных экспериментальных исследований в масштабах мясокомбината, были организованы и проведены модельные эксперименты с применением различных газовых смесей на лабораторных животных (крысах), в ходе которых ставилась цель поиска и отработки подходов, пригодных для оценки физиологических реакций животных в условиях промышленного производства.

3.1.1 Изучение влияния состава газовой смеси на прижизненные и послеубойные показатели*

Объектами исследования явились крысы-самцы стока Wistar spf-категории (N=24), полученные из НПП «Питомник лабораторных животных» ФИБХ РАН (Московская область, г. Пущино), массой 436±14 г, случайным образом отобранные, индивидуально промаркированные и прошедшие адаптацию на протяжении 10 суток. За 12 часов до начала воздействия животных подвергали пищевой депривации.

Изучение влияния состава газов и газовых смесей на физиологическое состояние животных проводили с использованием углекислого газа (группа 1,

...

 $^{^{*}}$ Материалы, изложенные в п. 3.1.1, опубликованы в работе [130].

n=6), смеси азота и углекислого газа в соотношении 80/20 (группа 2, n=6), аргона (группа 3, n=6). Выбор газов был обусловлен возможностью и экономической целесообразностью их использования в промышленных условиях. Скорость потока газовой смеси для животных группы 1 составила 1,5 л/мин, групп 2 и 3 – 2,5 л/мин. Увеличение скорости потока газов для групп 2 и 3 обусловлено тем, что азот не вызывает гиперкапнии и не уменьшает объем вентиляции легких — соответственно, для наполнения легких животным требуется больший объем газа по сравнению с углекислым газом; аргон же является условно приемлемым согласно докладу Американской ассоциации ветеринарной медицины (ABMA) по эвтаназии за 2000 г. только в том случае, если снижение концентрации кислорода менее 2 % будет достигнуто достаточно быстро [100].

Событийные и ориентационные физиологические реакции животных в группах по результатам мониторинга условно разделили на периоды (табл. 6).

Таблица 6 – Периоды смены физиологических реакций крыс во время эксперимента

Название периода	События и положения туловища				
Период	Обнюхивание, груминг, попытки вдыхания воздуха из				
двигательной	верхнего слоя атмосферы камеры, попытки бегства				
активности	(группы 2 и 3), частичная потеря устойчивости.				
	Преимущественно движение по периметру камеры,				
	вертикальные стойки				
Переходный период	Глубокие вдохи, частичная потеря устойчивости,				
от двигательной	поднимание головы, попытки бегства, во время которых				
активности к	мышечные сокращения различной амплитуды резко				
пассивности (только	сменяются мышечными расслаблениями. Сидячее (реже				
для групп 2 и 3)	лежачее) положение с последующим возобновлением				
	двигательной активности				
Период пассивности	Глубокие вдохи, поднимание головы, потеря				
(только для групп 1	устойчивости, мышечные сокращения. Лежачее				
и 2)	положение				
Анестезия	Частые вдохи, потеря чувствительности, редко апноэ.				
	Лежачее положение				

Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных опытных групп 1, 2 и 3 во время воздействия показаны на рис. 14, 15 и 16, соответственно.

Физиологические реакции животных группы 1 характеризовались периодом двигательной активности (1 мин. 32 с), периодом пассивности (47 с) и анестезии (35 с). ЧСС возрастала в первую минуту воздействия (первый пик), что связано с нарастающим беспокойством животных и увеличением двигательной активности. Затем наблюдалось снижение ЧСС и ее стабилизация при переходе в период пассивности вследствие прекращения двигательной активности и перехода животных в лежачее положение (1 мин. 20 с – 1 мин. 50 с). После этого в течение периодов пассивности и анестезии наблюдалась устойчивая тенденция к снижению ЧСС.

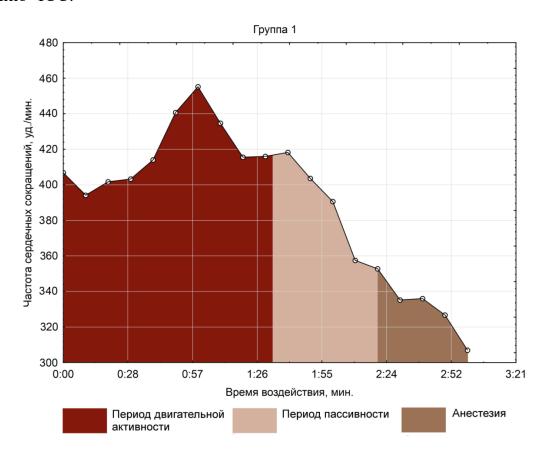


Рисунок 14 — Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных при воздействии CO₂ (группа 1) во время эксперимента

Физиологические реакции животных группы 2 характеризовались периодами двигательной активности (2 мин. 5 с), переходным периодом (2 мин. 14 с), в котором наблюдалось возобновление двигательной активности животных после временного перехода в лежачее положение, периодом пассивности (25 с) и анестезии (16 с). ЧСС непрерывно возрастала в первые 30 с воздействия, затем

после небольшого снижения (38 с) достигала наивысшего значения (1 мин.), что было связано с нарастающей двигательной активностью животных и активными попытками бегства. Далее ЧСС снижалась скачками, связанными с периодическими попытками бегства и возобновлением повышенной двигательной активности животных после перехода в лежачее положение и расслабления мышц. Наименьшая ЧСС наблюдалась во время короткого периода пассивности (4 мин. 19 с — 4 мин. 30 с), когда полностью прекращалась двигательная активность животных. Затем ЧСС снова резко возрастала с последующим снижением.

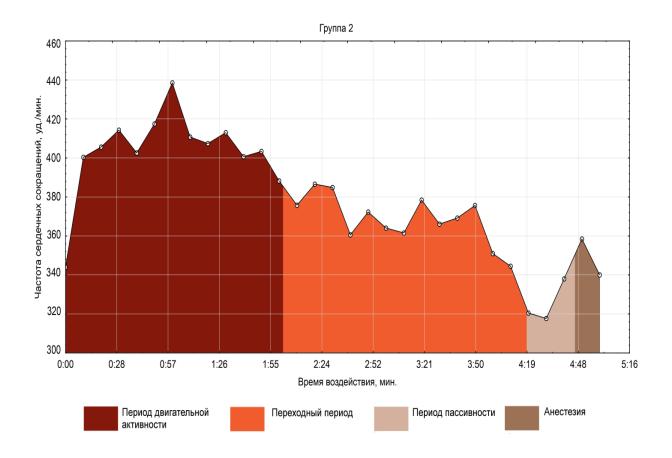


Рисунок 15 — Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных при воздействии смеси N_2 и CO_2 (группа 2) во время эксперимента

Физиологические реакции животных группы 3 характеризовались периодами двигательной активности (2 мин. 36 с), переходным периодом (4 мин. 1 с) и периодом анестезии (23 с). ЧСС возрастала в первые 10 секунд воздействия, после чего снижалась на протяжении 30 секунд, что, возможно, было связано с

замедленной реакцией животных на присутствие аргона в атмосфере камеры. Затем происходило увеличение ЧСС с достижением максимального значения (1 мин. 40 с), связанное с повышенной двигательной активностью, выражавшейся в попытках бегства для спасения от воздействия газовой смеси. По достижении максимального значения ЧСС падала до 70 уд./мин. (1 мин. 40 с – 2 мин. 10 с), и ее дальнейшие изменения носили скачкообразный характер с колебаниями, связанными с резкой сменой мышечных сокращений и расслаблений во время попыток бегства животных. Во время воздействия газа у животных полностью отсутствовал период пассивности, что, вероятно, было обусловлено быстро наступавшей гипоксией тканей [101, 127].

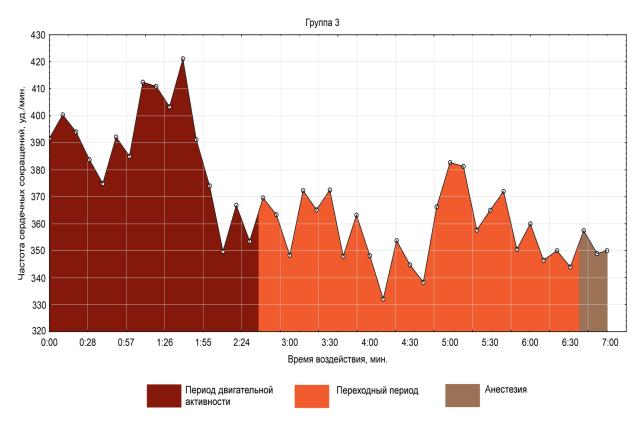


Рисунок 16 – Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных при воздействии Ar (группа 3) во время эксперимента

Таким образом, колебания ЧСС во время обездвиживания животных с использованием различных газов были напрямую связаны с их двигательной активностью, продолжительностью интенсивностью. Отсутствие ee переходного периода двигательной активности пассивности OT К газа использовании углекислого обеспечивало отсутствие возобновления активных движений, резких смен мышечных сокращений и расслаблений. Наличие длительного переходного периода с вышеописанными физиологическими реакциями при использовании для обездвиживания аргона и смеси азота и углекислого газа способствовало хаотичной двигательной активности животных с резкими сменами мышечных сокращений и расслаблений и увеличивало риск травм.

Полученные данные свидетельствовали о том, что время потери чувствительности животными статистически (p<0,05) различалось: для групп 1, 2 и 3 оно составило $173,6\pm3,7$ с; $299,8\pm3,7$ с и $420,0\pm19,0$ с, соответственно.

Время с момента извлечения животных из камеры обездвиживания до возобновления чувствительности для групп 1, 2 и 3 составило $28,3\pm7,4$ с, $38,5\pm9$ с и $42,6\pm7,2$ с, соответственно, однако различия между группами не были статистически значимыми (p=0,21; 0,41; 0,73).

Результаты взвешивания животных на протяжении 16 суток после воздействия газов представлены на рис. 17.



Рисунок 17 – Изменение средней массы животных во время эксперимента

Увеличение средней массы животных опытных групп по сравнению с интактной (контрольной) группой (n=6) на всем протяжении эксперимента проходило медленнее. В первые сутки после воздействия масса животных всех опытных групп не увеличивалась. Дальнейшие наблюдения показали, что средняя масса животных групп 1 и 2 увеличивалось сходным образом, в то время как

животные группы 3 показали уменьшение средней массы после проведения поведенческого теста на 13 сутки. Общее увеличение массы животных относительно начала эксперимента для интактной группы составило 11,2%, группы 1-8,2%, группы 2-7,9%, группы 3-3,5%.

Визуальный осмотр животных выявил, что состояние группы 1 соответствовало физиологической норме. Животные группы 2 на 2-е и 3-и сутки после воздействия проявляли неоднородную реакцию – у 60% крыс наблюдалось повышение двигательной активности, у 40% - наоборот, пассивное поведение. На 4-е сутки состояние животных нормализовалось. У группы 3 на 2-е и 3-и сутки после воздействия отмечалось выделение порфирина из носовых пазух, изменение со стороны шерстного покрова – шерсть была желтоватая, неопрятная, тусклая, со следами порфирина. Состояние животных нормализовалось на 6-е сутки. Отмечено, что после проведения тестирования в условиях «открытого поля» на 13 сутки у 40% животных группы 3 выявлено выделение порфирина из носовых пазух. Со стороны поведенческих реакций у групп 2 и 3 на протяжении всего эксперимента была отмечена повышенная возбудимость.

Результаты проведения теста в условиях «открытого поля» на 2-е и 13-е сутки после воздействия газами представлены в табл. 7.

У интактных животных при помещении в условия «открытого поля» на 2-е сутки эксперимента наблюдалась нормальная локомоторная активность. Изменения в характере двигательной активности отсутствовали. Горизонтальная и вертикальная активность, проявление «норкового рефлекса» опытных групп были ниже аналогичных показателей интактной группы; замирание, напротив, происходило чаще, что могло косвенно свидетельствовать об угнетенном состоянии животных после воздействия газовыми смесями. 40% группы 1, 60% группы 2 и 20% группы 3 демонстрировали груминг; акты дефекации и мочеиспускания имели место у 40% группы 1, 60% группы 2, 20% группы 3, что свидетельствовало o повышенной тревожности животных. демонстрировала отсутствие выхода в центр арены, что, возможно, также указывало на повышенную тревожность.

Таблица 7 – Поведенческие показатели у животных после воздействия газами

Гру	ппа	ЛПЦ, с	Горизон-	Вертикаль-	«Норковый	Замирание,
			тальная	ная	рефлекс»,	количество
			активность,	активность,	количество	случаев
			количество	количество	случаев	
			клеток	клеток		
		H	а 2 сутки посл	е воздействия		
Интакт	P ₂₅ -P ₇₅	109-180	43-69	14-18	13-17	1-3
	М _{среднее}	145	56	16	15	2
Гр. 1	P ₂₅ -P ₇₅	144-180	21-48	5-10	5-9	3-5
	М _{среднее}	162	35	8	7	4
Гр. 2	P ₂₅ -P ₇₅	90-180	23-49	8-14	3-9	3-7
	М _{среднее}	135	36	11	6	5
Гр. 3	P ₂₅ -P ₇₅	180-180	39-49	10-12	2-5	2-3
	М _{среднее}	180	44	11	4	3
	На 13 сутки после воздействия					
Интакт	P ₂₅ -P ₇₅	102-180	51-59	10-14	12-15	2-3
	М _{среднее}	141	55	12	13	3
Гр. 1	P ₂₅ -P ₇₅	137-180	8-54	1-5	5-9	2-3
	М _{среднее}	159	31	3	7	3
Гр. 2	P ₂₅ -P ₇₅	180-180	21-53	5-7	6-10	1-2
	М _{среднее}	180	37	6	8	2
Гр. 3	P ₂₅ -P ₇₅	180-180	27-45	2-6	5-7	1-2
	Мсреднее	180	36	4	6	2

При наблюдении за интактной группой во время тестирования на 13 сутки отмечено снижение ориентировочно-исследовательского поведения, что могло быть связано с привыканием животных к экспериментальной установке и переходу их к поведению «патрулирование» знакомой территории. Опытные животные демонстрировали пониженные по сравнению с интактной группой горизонтальную и вертикальную двигательную активность и «норковый рефлекс», также у групп 2 и 3 полностью отсутствовал выход в центр арены. Возможно, это свидетельствовало о длительном влиянии воздействия газами на физиологические функции лабораторных животных. Замирание у животных всех опытных групп практически не отклонялось от интактной. 60% группы 1 и 20% групп 2 и 3 демонстрировали груминг; у 40% группы 1, 60% группы 2 и 20%

группы 3 имели место акты дефекации и мочеиспускания. Количество актов груминга группы 2 сократилось в три раза, его продолжительность уменьшилась в 1,8 раз (25 с вместо 46 с). Вегетативные показатели опытных групп за время проведения эксперимента не изменились. Полученные данные не позволяли судить о различии влияния газов в зависимости от состава на физиологические показатели, оцениваемые при помощи поведенческого теста, однако наблюдалось снижение двигательной активности (горизонтальной И вертикальной) исследовательской активности лабораторных животных после воздействия газами по сравнению с интактной группой. При этом у групп 1 и 2 наблюдалось увеличение актов замирания. Через 13 суток после воздействия двигательная активность групп 1 и 2 соответствовала показателям животных интактной группы, при этом в вертикальная активность опытных групп была понижена. Также у групп 1 и 3 наблюдалось незначительное понижение исследовательской активности. Отмечено, что у животных 3 группы на 13 сутки после воздействия наблюдалось понижение горизонтальной, вертикальной и исследовательской активности. Предположительно, имела место частичная адаптация группы 2, так как значительно сократились продолжительность и количество актов груминга, однако вегетативные показатели свидетельствовали о стабильности стрессового состояния животных, что согласуется с [128, 129].

По результатам аутопсии и макроскопического исследования внутренних органов животных опытных групп были установлены отличительные особенности влияния исследованных газовых смесей на состояние внутренних органов (табл. 8).

Таблица 8 – Визуальная оценка состояния внутренних органов

Наименование отклонения,	Доля животных, имевших отклонение, %				
наблюдаемого при оценке органа	Группа 1	Группа 2	Группа 3		
1	2	3	4		
	Сердце	-			
Кровенаполнение сосудов	50	50	50		
	Легкие	1			
Мраморный рисунок	50	17	100		
Геморрагии	67	17	67		
Кровенаполнение	17	17	17		
	Селезенка				
Увеличение органа	17	0	0		
Шероховатость на разрезе	17	17	0		
Кровенаполнение	0	0	17		
	Почки				
Увеличение органа	17	17	0		
Мутная окраска	0	0	33		
Зернистая структура	0	17	17		
Кровенаполнение	17	17	17		
	Печень				
Увеличение органа	50	0	33		
Круглые края	50	0	33		
Зернистый рисунок поверхности	67	0	0		
Кровенаполнение	67	33	100		
Головной мозг					
Кровенаполнение сосудов (слабо выраженное)	17	33	17		
Кровенаполнение сосудов (средне выраженное)	0	17	0		

При внешнем осмотре грудной и брюшной полостей нарушений в положении внутренних органов не отмечено, листки плевры, перикарда и брюшины тонкие, блестящие, гладкие. Сердце животных во всех опытных группах без изменений, однако у 50 % животных в каждой опытной группе сосуды сердца имели небольшую степень кровенаполнения.

Легкие животных группы 1 были светло-розового цвета, при этом у 67% животных наблюдали геморрагии, дополнительно у 67% — мраморный рисунок, расположенный преимущественно в каудальной части легких (рис. 18). 50 % животных имели невысокую степень кровенаполнения легких.



Рисунок 18 — Внешний вид легкого животного после воздействия CO_2 (Об. 2x)

Легкие животных группы 2 преимущественно розового цвета, 17% имели мраморный рисунок, 17% — точечные геморрагии (рис. 19), 17% — невысокую степень кровенаполнения.

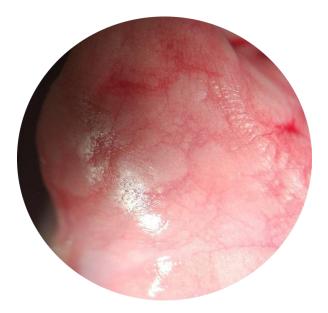


Рисунок 19 — Внешний вид легкого животного после воздействия N_2 + CO_2 (Об. 2x)

Легкие животных группы 3 розового цвета, при этом у 100% животных они имели мраморный рисунок, у 67% из них – геморрагии (рис. 20), у 17% – высокую степень кровенаполнения. Мраморный рисунок располагался преимущественно в каудальной части легких.



Рисунок 20 – Внешний вид легкого животного после воздействия Ar (Об. 2x)

Предположительно, отклонения легких групп 1 и 3 от нормы были вызваны гипоксией (при использовании углекислого газа — также гиперкапнией), в то время как использование смеси азота и углекислого газа позволило уменьшить негативное воздействие на легкие, предположительно, вследствие преимущественного воздействия на мозг животных.

У 17 % животных каждой группы наблюдались изменения селезенки: в группе 1 орган имел увеличенный размер и шероховатую поверхность, в группе 2 — шероховатую поверхность, в группе 3 — невысокую степень кровенаполнения.

У 17 % животных групп 1 и 2 почки были увеличены в размерах, у 17 % групп 2 и 3 — имели зернистую структуру, у 33 % группы 3 — мутную окраску. У 17 % животных всех опытных групп почки имели невысокую степень кровенаполнения.

У 50 % группы 1 и 33 % группы 3 наблюдалось увеличение печени и округление ее краев, 67 % животных группы №1 имели зернистый рисунок на поверхности печени. Также в группе №1 печень у 50 % животных имела невысокую, а у 17 % — среднюю степень кровенаполнения. В группе 2 17 % животных имели невысокую, и 17 % — среднюю степень кровенаполнения. В группе 3 все животные имели невысокую степень кровенаполнения печени.

Головной мозг 17 % животных групп 1 и 3 имел слабо выраженное кровенаполнение сосудов, в то время как в группе 2 слабо и средне выраженное кровенаполнение сосудов наблюдалось у 33 % и 17 % животных, соответственно. Значительное отличие в состоянии головного мозга у животных группы 2 от других опытных групп, предположительно, объяснялось специфическим действием азота на организм животных.

Оценивали относительную массу внутренних органов (табл. 9). Установлено, что масса сердца, селезенки, печени, надпочечников, почек и головного мозга в опытных группах достоверно не отличалась (p>0,05).

Таблица 9 – Относительная масса внутренних органов животных опытных групп

Наименование органа	Относительная масса органов животных, % к массе животного			
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	
Сердце	$0,326\pm0,012$	$0,319\pm0,034$	$0,318\pm0,025$	
Селезенка	$0,190\pm0,015$	$0,178\pm0,038$	0,183±0,0282	
Надпочечники	$0,009\pm0,001$ $0,008\pm0,001$ $0,009\pm0,00$		$0,009\pm0,001$	
Почка	$0,963\pm0,654$	$0,276\pm0,014$	$0,291\pm0,028$	
Печень	1,968±0,664 1,852±0,376 2,440±0,0		2,440±0,094	
Головной мозг	$0,482\pm0,047$	$0,445\pm0,024$	$0,458\pm0,042$	

Биохимический анализ сыворотки крови, отобранной у животных сразу после воздействия газовыми смесями (табл. 10), не выявил достоверных различий по содержанию триглицеридов, креатинина, а также активности ЛДГ и КФК между опытными группами. Группы 2 и 3 достоверно различались по уровню глюкозы (p = 0.04).

Таблица 10 – Результаты биохимического анализа сыворотки крови

Поморожани	Значение показателя			
Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3	
Глюкоза, мМоль/л	9,13±1,60 7,55±1,00 10		$10,60\pm0,80$	
Триглицериды, мМоль/л	$0,65\pm0,07$	$0,65\pm0,07$ $0,77\pm0,18$		
ЛДГ, ЕД/л	791,08±457,91	1134,16±525,16	780,04±208,66	
КФК, ЕД/л	3333,73±1212,731	2630,82±447,92	2720,95±551,33	
Креатинин, мкМоль/л	56,63±2,56	59±3,27	54,75±1,8	

Содержание триглицеридов, глюкозы и креатинина, а также активности ЛДГ находились в пределах нормы, в то время как активность КФК у животных опытных групп значительно превышала норму (в среднем в 4,4 раза), что могло являться следствием повреждения тканей сердечной мышцы, легких и головного мозга, возникших при воздействии на животное газовыми смесями.

Сравнительная оценка обездвиживания животных с использованием различных газов показала, что при воздействии всех газовых смесей у животных начинался период двигательной активности с повышением ЧСС, то есть воздействие газов являлось стрессовым фактором. Применение углекислого газа приводило животных к более быстрой потере чувствительности (на 42% быстрее по сравнению с применением смеси азота и углекислого газа и на 59% быстрее по сравнению с применением аргона) без переходного периода с резкими сменами мышечных сокращений и расслаблений и с возобновлением двигательной активности. В то же время при использовании смеси азота и углекислого газа, а также аргона наблюдался длительный переходный период от двигательной активности к пассивности (44,7% и 72,4% от общего времени обездвиживания способствовало соответственно), ЧТО стрессовым группы, переживаниям животных. Полученные данные согласуются с [102-104]. Переходный период группы 3 по отношению к переходному периоду группы 2 оказался длиннее на 80 %.

Анализ восстановления животных после воздействия выявил, что максимальное приближение к показателям прироста живой массы интактной группы отмечено у крыс групп 1 и 2 (8,2% и 7,9%, соответственно, к 11,2% у интактной группы). Результаты тестирования животных в условиях «открытого поля» на вторые сутки свидетельствовали об угнетенном состоянии всех опытных животных, на 13 сутки – о том, что животные окончательно не адаптировались после воздействия газами, однако наиболее приближено к интактной группе было поведение групп 1 и 2, что свидетельствовало о менее выраженной стрессовой реакции на воздействие углекислого газа и смеси углекислого газа и азота.

Осмотр внутренних органов после аутопсии показал, что воздействие газовыми смесями на животных оказывало влияние на состояние внутренних органов, главным образом, на легкие, печень и мозг. Предположительно, эти изменения связаны с механизмами воздействия газов на организм животных. Активность КФК у животных опытных групп значительно превышала норму, что могло являться следствием повреждения тканей сердечной мышцы, легких и головного мозга, возникающего при воздействии газовых смесей.

Таким образом, проведенные на лабораторных животных исследования показали, что газовое обездвиживание вызывает у животных стрессовое состояние. При этом углекислый газ остается наиболее предпочтительным вариантом газовой смеси для обездвиживания с точки зрения благополучия животных и технологических характеристик (времени экспозиции). Смеси с содержанием азота представляют интерес для дальнейшего изучения.

3.1.2 Изучение влияния скорости подачи газовой смеси на прижизненные и послеубойные показатели *

Объектами исследования явились крысы-самцы стока Wistar (N=10), полученные из из филиала «Андреевка» ФГБУН НЦБМТ ФМБА России, массой 365±30 г, случайным образом отобранные, индивидуально промаркированные и прошедшие адаптацию на протяжении 10 суток. За 12 часов до начала воздействия животных подвергали пищевой депривации.

Крыс произвольно распределили на группы (n=5).две равные Обездвиживание животных группы 1 проводили при рекомендуемой производителем камеры скорости потока углекислого газа 0,3 л/мин, группы 2 – при повышенной скорости 1,5 л/мин.

Событийные и ориентационные физиологические реакции животных в группах по результатам мониторинга условно разделили на периоды (табл. 11).

-

 $^{^*}$ Материалы, изложенные в п. 3.1.2, опубликованы в работах [131-133].

Таблица 11 – Периоды смены физиологических реакций крыс во время эксперимента

Название периода	События и положения туловища				
Период двигательной	Обнюхивание, попытки вдыхания воздуха из верхнего				
активности	слоя атмосферы камеры, попытки бегства, частичная				
	потеря устойчивости. Преимущественно движение по				
	периметру камеры, вертикальные стойки				
Переходный период	Глубокие вдохи, частичная потеря устойчивости,				
от двигательной	поднимание головы, мышечные сокращения.				
активности к	Преимущественно сидячее положение, нередко с				
пассивности (только	последующим возобновлением двигательной активности				
для группы 2)					
Период пассивности	Глубокие вдохи, поднимание головы, потеря				
	устойчивости, мышечные сокращения (группа 2).				
	Лежачее положение				
Анестезия	Частые вдохи, потеря чувствительности, редко апноэ.				
	Лежачее положение				

Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных групп 1 и 2 во время воздействия показаны на рис. 21 и 22, соответственно.

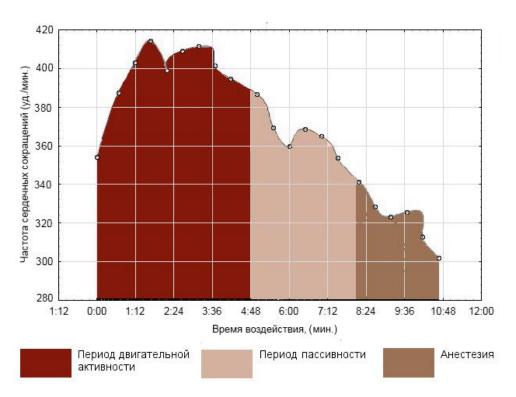


Рисунок 21 — Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных при скорости подачи ${\rm CO_2~0,3~m/c}$

Физиологические реакции группы 1 животных характеризовались периодами двигательной активности (288 с), пассивности (180 с) и периодом анестезии (152 с). Кривая, иллюстрирующая колебания ЧСС, непрерывно возрастала в первые 2 минуты воздействия (первый пик), что связано с нарастающим беспокойством животных повышенной двигательной И активностью. Затем наблюдалось снижение ЧСС (2 мин 20 с), вероятно, связанное с частичной адаптацией животного к изменяющимся условиям. Второй пик также приходился на период двигательной активности (3 мин 20 с), затем наблюдалась устойчивая тенденция к снижению ЧСС, со спадом (6 мин) в периоде пассивности, связанном с переходом животных в лежачее положение, и небольшим пиком во время периода анестезии (9 мин 50 с), что соотносилось с неглубоким и частым характером вдохов.

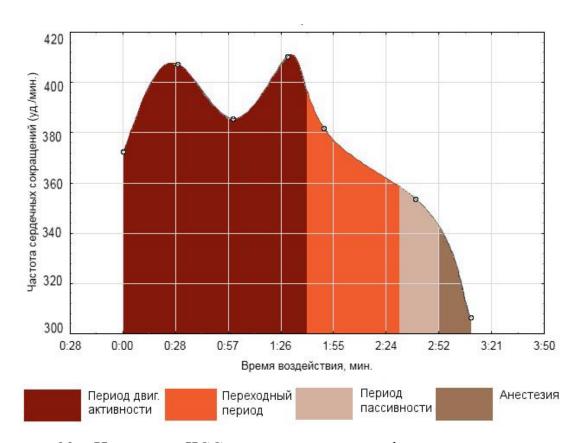


Рисунок 22 – Изменение ЧСС по периодам смены физиологических реакций животных при скорости подачи CO₂ 1,5 м/с

Физиологические реакции животных группы 2 характеризовались периодами двигательной активности (98 с), переходным периодом (49 с), который характеризовался возобновлением двигательной активности животных после временного перехода в лежачее положение, периодом пассивности (21 с) и анестезии (16 с). Кривая, иллюстрирующая колебания ЧСС, имеет два пика (30 с; 1 мин 30 с), что связано с повышенной двигательной активностью животных (ходьбой и попытками бегства с частичной потерей устойчивости). Затем в переходный период и периоды пассивности и анестезии наблюдается устойчивая тенденция к снижению ЧСС.

Таким образом, колебания ЧСС были напрямую связаны с двигательной активностью животных во время процесса обездвиживания.

Полученные свидетельствовали о TOM, данные время потери ЧТО чувствительности животными различалось. Для группы 1 оно составило $548,3\pm38,3$ с, для группы $2-178,8\pm9,3$ с. Ускоренная подача углекислого газа, примененная к группе 2, привела к более быстрой потере чувствительности, что, по данным проведенных ранее исследований, обеспечивало снижение уровня стресса животных. Результаты мониторинга времени с момента извлечения животных из камеры до возобновления чувствительности свидетельствовали о более длительном периоде отсутствия чувствительности у животных группы 2 $(56,8\pm8,8\ c)$ по сравнению с животными группы 1 $(29,3\pm5,3\ c)$, что являлось наиболее предпочтительным технологии убоя c точки зрения сельскохозяйственных животных, так как более длительный период отсутствия чувствительности позволяет гарантировать безопасное проведение операции по обескровливанию животных.

Визуальная оценка внутренних органов (табл. 12) показала, что сердце и легкие животных группы 2 были менее кровенаполнены, сосуды головного мозга без видимых изменений, что свидетельствовало о более полном обескровливании.

Таблица 12 – Визуальная оценка внутренних органов

Наименование	Результат осмотра			
органа	Группа 1	Группа 2		
Сердце	Высокая степень	Средняя степень		
	кровенаполнения, коронарные	кровенаполнения		
	сосуды кровенаполнены, вздуты			
Легкие	Высокая степень	Средняя степень		
	кровенаполнения, альвеолы	кровенаполнения, альвеолы		
	расширены, мраморный рисунок,	расширены, спорадические		
	точечные кровоизлияния	кровоизлияния		
Головной мозг	Сосуды инъецированы	В норме		

Оценивали относительную массу внутренних органов животных к массе каждого животного (табл. 13).

Таблица 13 – Относительная масса внутренних органов животных опытных групп

	Относительная масса органов животных		
Наименование органа	(% к массе каждого животного)		
	Группа 1	Группа 2	
Сердце	$0,383\pm0,028$	0,375±0,021	
Легкие	$0,720\pm0,047$	0,583±0,035	
Печень	2,803±0,091	2,936±0,118	
Почка	0,323±0,018	0,324±0,014	
Надпочечники	$0,018\pm0,003$	0,018±0,004	
Селезенка	0,225±0,022	0,247±0,025	
Головной мозг	$0,579\pm0,026$	0,594±0,022	

Установлено, что масса сердца, печени, почек, надпочечников, селезенки и головного мозга достоверно не отличалась у животных обеих групп. Увеличение массы легких у животных группы 1 (на 19,4%), вероятно, связано с высокой степенью кровенаполнения.

Анализ показателей крови, характеризующих состояние лейкоцитарной формулы (табл. 14), выявил, что у животных группы 2 наблюдалось увеличение лейкоцитов (на 12,2%) за счет лимфоцитов (до 20%), моноцитов (на 16,8%) и незрелых клеток, при этом доля гранулоцитов значительно снижалась (до двух раз). Возможно, эта динамика указывала на стрессовое переживание животных во

время обездвиживания, так как известно, что при стрессе происходит снижение содержания зернистых лейкоцитов (гранулоцитов) на фоне увеличения количества лейкоцитов. У животных группы 1 наблюдалось повышение количества тромбоцитов (на 16,8%). Отмечено, что у животных группы 2 наблюдалось некоторое снижение количества эритроцитов и гемоглобина, отражающихся на гематокрите. При примерно одинаковом объеме эритроцитов наблюдалось некоторое снижение концентрации гемоглобина в эритроците и ширины распределения эритроцитов, что могло косвенно указывать на состояние гипоксии.

Таблица 14 – Результаты общего клинического анализа крови

Показатель	Норма	Значение показателя	
		Группа 1	Группа 2
Лейкоциты, $10^9/\pi$	2,1-19,5	5,11±2,22	5,82±1,61
Лимфоциты, $10^9/\pi$	2,0-14,1	4,18±1,93	5,19±1,44
Содержание смеси моноцитов,	0,0-0,98	$0,05\pm0,03$	$0,09\pm0,09$
эозинофилов, базофилов и незрелых			
клеток, $10^9/л$			
Гранулоциты, $10^9/л$	0,1-5,4	$0,87\pm0,56$	$0,54\pm0,48$
Лимфоциты, %	55,0-97,0	80,5±8,96	89,39±8,49
Моноциты, %	0,0-5,0	1,25±0,77	1,46±1,23
Относительное содержание	2,0-31,0	18,25±8,63	9,16±8,42
гранулоцитов, %			
Эритроциты, 10 ¹² /л	5,3-10,0	7,9±0,2	7,41±0,24
Гемоглобин, г/л	140,0-180,0	137,63±2,13	130±2,45
Гематокрит, %	35,0-52,0	42,24±0,89	40,1±1,02
Средний объем эритроцита, мкм ³	50,0-62,0	53,63±0,52	54±0,94
Среднее содержание гемоглобина	16,0-23,0	17,41±0,54	17,57±0,42
в эритроците, пг			
Средняя концентрация гемоглобина	310,0-400,0	325,88±8,01	324,4±5,66
в эритроцитах, г/л			
Ширина распределения эритроцитов, %	_	14,71±0,47	14,57±0,39
Тромбоциты, $10^9/л$	500,0-1370,0	965,5±39,1	803,5±45,6
Тромбокрит, %	_	$0,63\pm0,03$	0,51±0,03
Средний объем тромбоцита, мкм ³	_	6,53±0,07	6,35±0,5
Распределение тромбоцитов, %	_	32,18±0,31	31,86±0,2

Результаты биохимического анализа крови (табл. 15) свидетельствовали о снижении триглицеридов у группы 2 по сравнению с группой 1 в два раза. Активность ЛДГ у группы 2 по сравнению с группой 1 была ниже на 22,7 %, КФК – на 39,2 %. Содержание креатинина у группы 2 было ниже на 15,9 %.

Таблица 15 – Результаты биохимического анализа сыворотки крови

Показатель	Значение показателя		
	Группа 1	Группа 2	
Глюкоза, мМоль/л	7,54±2,22	5,86±0,83	
Триглицериды, мМоль/л	$0,93\pm0,03$	$0,47\pm0,06$	
ЛДГ, ЕД/л	541,08±47,73	418,17±40,50	
КФК, ЕД/л	4452,66±891,21	2707,38±631,70	
Креатинин, мкМоль/л	112,50±3,67	95,20±1,69	

Низкие значения показателей содержания триглицеридов и глюкозы, вероятно, были связаны с пищевой депривацией животных, однако, высвобождение триглицеридов в группе 1 могло быть следствием активизации процессов ПОЛ.

Незначительное повышение активности ЛДГ у группы 1 могло быть вызвано физиологическим напряжением, нарушениями ритма сердца и гемолизом.

Значительное снижение активности КФК (в четыре раза у группы 1 и почти в семь раз у группы 2) и креатинина в крови (в 1,6 и 1,4 раза, соответственно) относительно нормы свидетельствовало о высокой степени стресса животных.

Показатели системы антиоксидантной защиты организма (антиокислительной активности) были оценены в мышечной и паренхиматозной ткани (печени). Анализ показателей антиокислительной активности (табл. 16) показал, что активность СОД в мышечной ткани животных группы 1 превышала активность СОД в мышечной ткани животных группы 2 (на 30%).

Группа	AOA,	МДА,	Активность	Активность	
	$K_{\rm M}*\pi/(1000*{\rm M}{\rm \Gamma}*{\rm M}{\rm M}{\rm H})$	мкМоль/л	каталазы,	СОД, Ед/мг	
			E (моль H_2O_2)/ Γ	ткани	
			ткани		
Мышечной ткани					
Группа 1	$0,127\pm0,001$	$0,023\pm0,010$	$20,30\pm1,92$	14,80±2,50	
Группа 2	$0,119\pm0,007$	$0,022\pm0,008$	$17,68\pm1,25$	10,46±0,94	
Паренхиматозной ткани					
Группа 1	$0,591\pm0,069$	$0,424\pm0,056$	11,48±1,42	2,58±0,15	

Таблица 16 – Показатели системы антиоксидантной защиты организма

Показатели АОА, активности каталазы и МДА в мышечной ткани животных обеих групп достоверно не различались. Повышение активности СОД в мышечной ткани животных группы 1, вероятно, указывало на более значительное стрессовое состояние животных.

 0.304 ± 0.034

 $17,14\pm0,71$

 $2,36\pm0,11$

 $0,719\pm0,047$

Группа 2

Содержание МДА в паренхиматозной ткани у животных группы 1 было выше на 28,3 % по сравнению с животными группы 2. Активность каталазы, напротив, была выше у животных группы 2 (на 33%).

Повышение содержания МДА у группы 1 свидетельствовало об активизации процессов ПОЛ и снижении антиоксидантной защиты организма вследствие более длительного стрессового состояния.

Повышенная активность каталазы у группы 2 указывала на возрастание концентрации пероксида водорода в клетках печени и о начале активизации процессов ПОЛ.

Проведенный комплекс исследований показал, что ускоренная подача газа в камеру обездвиживания животных приводила к более быстрой потере чувствительности и обеспечила меньшие повреждения внутренних органов и их меньшее кровенаполнение, а также меньший уровень стресса, о чем свидетельствовали показатели активности ЛДГ, КФК и содержания креатинина в крови животных, а также активности СОД в мышечной ткани и содержания МДА в паренхиматозной ткани.

Результаты исследования позволили сделать вывод о преимуществе ускоренной подачи углекислого газа для обездвиживания животных за счет снижения уровня стресса и лучшего состояния внутренних органов.

Проведенные на лабораторных животных эксперименты подтвердили отсутствие альтернатив углекислому газу среди исследованных газов, пригодных для промышленного применения, вследствие их большего отрицательного влияния на физиологическое состояние животных. Также было показано преимущество ускоренного режима подачи углекислого газа обездвиживания крыс, ЧТО согласуется c литературными данными предпочтительности быстрого воздейтвия более высокой концентрации углекислого газа для обездвиживания свиней [79, 82].

Результаты исследований, проведенных на лабораторных животных, позволили сформировать подходы к проведению мониторинга на промышленных предприятиях.

3.2 Идентификация рисков процесса газового обездвиживания свиней и определение нежелательного события

Перед началом производственных экспериментов на продуктивных животных проведена первичная идентификация рисков на основе анализа законодательной и нормативной документации согласно алгоритму, приведенному на рис. 13. Были выделены четыре риска:

- риск 1: прекращение сердечной деятельности у животного во время обездвиживания в газовой камере;
- риск 2: сохранение чувствительности у животного после его выгрузки из газовой камеры;
- риск 3: травмирование животного в процессе обездвиживания при выполнении подгона, погрузки в камеру, погружения в шахту и выгрузки из камеры;
- риск 4: задержка разгрузки и подачи животного на обескровливание (свыше 3 минут).

Вероятность наступления этих рисков была оценена на основе анализа данных мониторинга крупных промышленных предприятий, расположенных на территории Белгородской, Курской, Липецкой, Тюменской и Тамбовской областей и применяющих технологию обездвиживания свиней при помощи углекислого газа. Мониторинг был проведен в 2018-2021 гг. в рамках выполнения настоящей диссертационной работы.

Ниже приведены сведения о мощности убойных цехов, типах и технических характеристиках установок для обездвиживания, используемых на этих предприятиях (табл. 17).

	_	_			_
Регион	Мощность Оборудование для		Рабочая		
(область)	убойн	юго цеха	обездвиживания		концентрация
	гол./ч	гол./сут.	Тип	Изготовитель	CO ₂ , %
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

Таблица 17 – Характеристики предприятий, участвовавших в мониторинге

Травмирование свиней при выполнении подгона, погрузки в гондолу, погружения в камеру и выгрузки может возникать вследствие недостатков конструкторских решений вспомогательного оборудования и при ошибках персонала при выполнении этих операций. Во время проведения мониторинга случай травмирования свиньи полуавтоматическим заградительным щитом при подгоне в камеру был единичным.

Задержка разгрузки и подачи животного на обескровливание также наблюдалась крайне редко (только в экстренных случаях остановки оборудования), так как на всех предприятиях убой и первичная переработка свиней проводились на конвейерных линиях и квалифицированным персоналом.

Среди выявленных случаев нарушений наиболее редко (менее 1% от общего количества животных) выявлялись травмирование животного в процессе

обездвиживания и задержка разгрузки и подачи животного на обескровливание. Вышеназванные нарушения (риски 3 и 4) были исключены в дальнейшем из анализа, как маловероятные при хорошо налаженной работе крупного убойного цеха.

В ходе проведения мониторинга сразу после выгрузки животных из камеры обездвиживания были обследованы 659 животных. При этом наличие чувствительности у свиней (риск 2) было зарегистрировано в 2,3 раза реже, чем отсутствие сердечных сокращений (риск 1) (рис. 23).

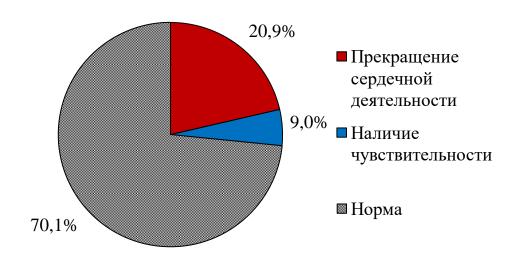


Рисунок 23 – Установленные нарушения процесса обездвиживания свиней

Таким образом, вероятность (P) событий, когда обездвиживание проходило нормально (Norm), или заканчивалось прекращением сердечной деятельности у животного (Risk1), или не приводило к потере чувствительности (Risk2), составляла:

- P (Norm) = 0,701;
- P(Risk1) = 0.209;
- P (Risk2) = 0.090.

Большинство обследованных предприятий (четыре из пяти), принявших участие в мониторинге, применяли рабочую концентрацию углекислого газа в камере обездвиживания выше 85% в соответствии с международными нормами гуманного обращения с убойными животными. По этой причине сохранение

чувствительности (Risk2) оказалось менее вероятным событием, а, следовательно, и менее вероятным риском, связанным с обездвиживанием.

Высокая вероятность наступления Risk1, наличие в международной документации законодательных запретов, а также его значительное влияние на качество и безопасность мяса, согласно [13, 67], позволили рассматривать прекращение сердечной деятельности в процессе обездвиживания как нежелательное событие, требующее мер по предотвращению его наступления.

3.3 Оценка последствий реализации риска для качества и безопасности продуктов убоя*

В ходе работы по оценке последствий прекращения сердечной деятельности во время обездвиживания животных проведены исследования продуктов убоя, полученных от свиней, обездвиженных без нарушений, и от свиней, погибших в камере обездвиживания.

Оценку кровенаполнения внутренних органов проводили в парном состоянии сразу после выполнения операции нутровки на точке ветеринарного осмотра для сохранения прослеживаемости. Степень кровенаполнения внутренних органов определяли при помощи разработанного экспериментального метода оценки внутренних органов свиней, описанного в главе 2 (см. 2.4.2).

Сравнительное исследование внутренних органов свиней, обездвиженных с неудовлетворительным результатом, и внутренних органов свиней, обездвиженных с положительным результатом, показало, что 71% легких и 82% печени с высокой степенью кровенаполнения были получены от погибших в камере обездвиживания животных.

Печень и легкие на разрезе с высокой степенью кровенаполнения, полученные от свиней, обездвиженных с неудовлетворительным результатом, представлены на рис. 24.

-

^{*} Материалы, изложенные в п. 3.2, опубликованы в работах [134, 135].

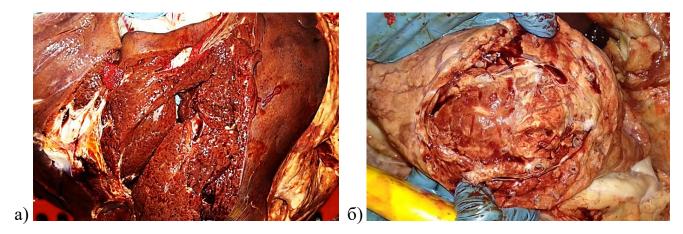


Рисунок 24 — Печень (a) и легкие (б) с высокой степенью кровенаполнения от свиней, обездвиженных с неудовлетворительным результатом

Визуальная оценка качества обескровливания продуктов убоя подтверждена результатами микроструктурных исследований. Признаки плохого обескровливания выражались в разрыве стенок сосудов микрокапиллярного русла мышечной ткани (рис. 25а), наличии форменных элементов крови в перимизии (соединительнотканных прослойках) мышечной ткани (рис. 25б), а также гиперемии сосудов миокарда (рис. 26).

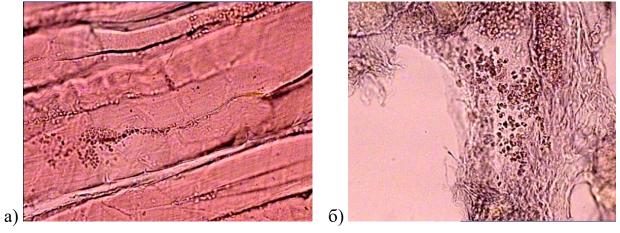


Рисунок 25 — Разрыв стенок сосудов микрокапиллярного русла (a), форменные элементы крови в перимизии мышечной ткани (б). Об. 400х

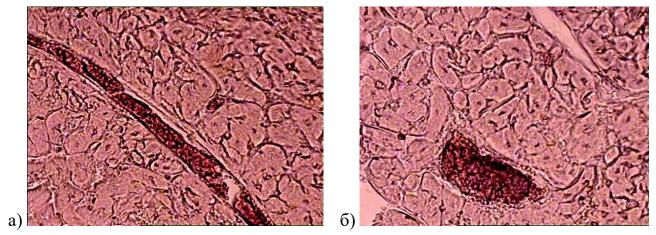


Рисунок 26 — Расширенные, гиперемированные сосуды миокарда в продольном (a) и поперечном сечении (б). Об. 400х

Характеристика образцов внутренних органов с разной степенью кровенаполнения, полученных от погибших во время обездвиживания свиней, по результатам микроструктурных исследований представлена в табл. 18.

Таблица 18 – Результаты микроструктурного исследования внутренних органов

Орган	Микроструктура органа при степени кровенаполнения			
	низкой	средней	высокой	
1	2	3	4	
Сердце	Изменений в структур	ре эндокарда не выявлен	но. Миокард желудочков	
	образован сердечной	мышечной тканью, ос	новная масса миокарда	
	сформирована из	миоцитов, окружени	ных тонковолокнистой	
	соединительной ткань	ю. Ядра миоцитов отчет.	ливо выражены, границы	
	хорошо различимы			
	Капиллярная сеть,	Капиллярная сеть,	Капилляры расширены,	
	оплетающая волокна	оплетающая волокна	кровенаполнены, в	
	сердечной ткани	сердечной ткани	отдельных участках	
	кровенаполнена	отчетливо выражена,	миокарда	
	незначительно. В	умеренно	обнаруживаются	
	крупных	кровенаполнена. В	точечные	
	кровеносных	крупных кровеносных	кровоизлияния.	
	сосудах эпикарда	сосудах эпикарда	Крупные сосуды	
	выявляется	выявляется	эпикарда	
	присутствие крови	присутствие крови	кровенаполнены	

Окончание таблицы 18

1	2	3	4	
Легкие	В верхних долях легкі	их в просвете бронхов малого калибра, бронх		
	соединительнотканные	е прослойки разрыхлены,	отечны	
	Альвеолы частично	Альвеолы частично	Альвеолы заполнены	
	заполнены кровью.	заполнены кровью,	кровью, Капиллярная	
	Капиллярная сеть,	Капиллярная сеть,	сеть, окружающая	
	окружающая	окружающая альвеолы,	альвеолы, значительно	
	альвеолы,	умеренно	кровенаполнена	
	кровенаполнена	кровенаполнена		
	незначительно			
Печень	I -	_	границы долек отчетливо	
	выражены. Печеночнь	не балки сформированы	из гепатоцитов	
	многогранной формы,	ядра клеток отчетливо в	ыражены	
	Междольковые	Междольковые	Междольковые артерии	
	артерии и вены	артерии и вены	и вены, центральная	
	незначительно	умеренно	вена расширены,	
	кровенаполнены, в	кровенаполнены, в	кровенаполнены, в	
	центральной вене	центральной вене	межбалочных синусах	
	кровь не	наполнение кровью	наличие крови	
	обнаруживается	выявляется в		
		отдельных участках		
Почки	В паренхиме органа от	гчетливо различимы корг	ковое и мозговое	
	вещество. Архитектон	ика почечных телец и из	витых канальцев	
	сохранена	<u> </u>		
	Капиллярная сеть	Почечные тельца	Почечные тельца	
	(дуговые,	набухшие,	набухшие. Капиллярная	
	междольковые	капиллярная сеть	сеть (дуговые,	
	артерии, артериолы	(дуговые,	междольковые артерии,	
	почечных телец и	междольковые	артериолы почечных	
	др.) умерено	артерии, артериолы	телец и др.) расширена,	
	кровенаполнена	почечных телец и др.)	значительно наполнена	
		расширена, наполнена	кровью, в отдельных	
		кровью	участках коркового и	
			мозгового вещества	
			выявлены мелкие	
			кровоизлияния	

Таким образом, кровенаполнение легких и печени (особенно высокое кровенаполнение) могут служить косвенным признаком нарушений при процессе обездвиживания и одновременно критерием при проведении оценки качества обездвиживания на предприятиях. Преимущество этого критерия состоит в том, что он может быть определен визуально у всех животных поголовно без внесения изменений в технологический процесс. Значительное количество органов с высоким кровенаполнением будет являться сигналом для проведения более глубокого анализа.

Визуальную оценку туш проводили через 24 часа после убоя в процессе разделки и обвалки (табл. 19). По результатам осмотра туш выявлены два основных дефекта: кровенаполнение суставной сумки тазобедренного сустава и окрашивание шпика кровью вследствие кровоподтеков. Эти дефекты проявлялись почти во всех случаях гибели животных.

Таблица 19 – Результаты осмотра туш свиней, погибших при обездвиживании

No	Дефект	Доля туш,
п/п		имевших
		дефект, %
1	Суставы тазобедренной части содержат кровь в разной	88
	степени: от наличия крови в суставной сумке и до обширных	
	кровоизлияний в мышечную ткань вокруг сустава	
2	Шпик розовый (розоватый) в результате окрашивания кровью	76
	и/или с точечными единичными кровоизлияниями,	
	гематомами	
3	На коже тазобедренной части туши выраженная «сетка»	28
	кровенаполненных сосудов, местами гематомы	
4	Мышечная и жировая ткани в разных частях туши пропитаны	28
	кровью	
5	По реберной части потеки крови из внутренних сосудов	12
6	На позвоночном столбе мелкие сгустки крови	12
8	Вокруг сустава в большом количестве инфильтрат	4
	желтоватого цвета (отечная жидкость)	

Таким образом, прекращение сердечной деятельности в камере обездвиживания влияло на процесс обескровливания и приводило к снижению качества туш и субпродуктов.

Средние значения величины pH через 1 час и через 24 часа после убоя у животных, погибших в камере обездвиживания, и у животных, обездвиженных с положительным результатом, достоверно не различались (табл. 20). Однако распределение туш животных по диапазонам величины pH $_{24}$ демонстрировало, что 63% туш свиней, погибших в камере (рис. 27), и 45% туш свиней, обездвиженных с положительным результатом (рис. 28), имели признаки порока PSE (величину pH ниже 5,6).

Таблица 20 – Значения величины pH *m. L. dorsi*, полученной от свиней, погибших при обездвиживании и обездвиженных без нарушений (N=107)

Результат процесса обездвиживания	Показатель		
тезультат процесса обездвиживания	pH ₁	pH ₂₄	
Наступление нежелательного события (n=24)	6,15±0,06	5,57±0,02	
Отсутствие нежелательного события (n=83)	6,24±0,02	5,60±0,01	

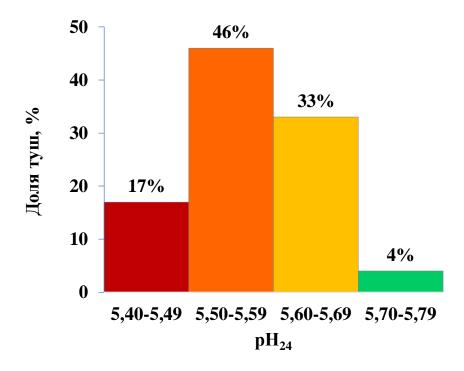


Рисунок 27 – Распределение туш свиней, погибших в камере, по рН₂₄

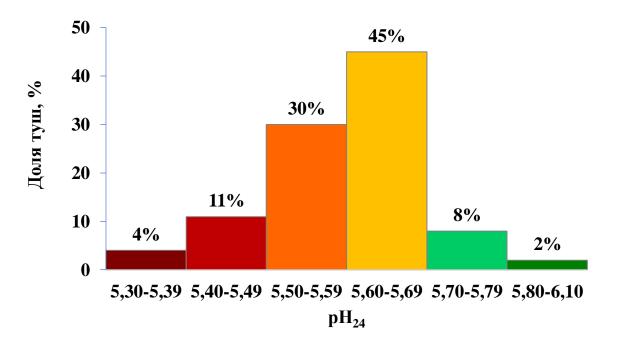


Рисунок 28 — Распределение туш свиней, обездвиженных с положительным результатом, по рH₂₄

Увеличение доли туш со сниженными значениями величины pH_{24} при наступлении нежелательного события могло свидетельствовать о воздействии стрессовых факторов, которому подвергались животные [71].

Показатели цвета мышечной ткани в системе CIELab (L – светлота, а – краснота, b – желтизна) от свиней, обездвиженных с различным результатом, достоверно не отличались (табл. 21, p>0,05).

Таблица 21 – Показатели цвета свинины, полученной от свиней, погибших при обездвиживании и обездвиженных без нарушений (N=30)

Результат процесса обездвиживания	Показатели			
тезультат процесса обездвиживания	L	a	b	
Наступление нежелательного события (n=15)	56,56±0,55	2,92±0,26	8,38±0,18	
Отсутствие нежелательного события (n=15)	55,68±0,91	$3,25\pm0,37$	8,43±0,26	

В мышечной ткани, полученной от свиней, погибших в камере обездвиживания, массовая доля влаги и капельные потери были увеличены (p<0,05) по сравнению с мышечной тканью свиней, сохранивших сердечную деятельность после обездвиживания (табл. 22).

Таблица 22 – Массовая доля влаги, капельные потери мяса, полученного от свиней, погибших при обездвиживании и обездвиженных без нарушений (N=30)

Розуди дот произосо	Показатели		
Результат процесса обездвиживания	Массовая доля влаги	Капельные потери	
оосздвиживания	в мышечной ткани, %	в течение 24 часов, %	
Наступление нежелательного	75,07±0,25	5,88±0,26	
события (n=15)	73,07±0,23	3,86±0,20	
Отсутствие нежелательного	73,51±0,40	4,69±0,34	
события (n=15)	75,51±0,40	4,07±0,34	

Таким образом, наличие животных с прекращением сердечной деятельности приводило к ухудшению функционально-технологических характеристик получаемого мяса.

Известно, что плохое обескровливание влияет на гигиеническое состояние производства и микробиологические показатели получаемых туш. Однако оценка микробиологических показателей безопасности туш, согласно требованиям [105], проводится путем отбора проб из глубоких слоев и, как правило, не позволяет оценить существующие риски дальнейшей контаминации. В этой связи микробиологические исследования были проведены путем смывов с поверхности полутуш (с внутренней стороны тазобедренной части, не имеющей шкуры).

Из двух групп свиней с разным результатом обездвиживания случайным образом были отобраны туши (N=32, n=16), через 24 часа после убоя были взяты смывы для проведения микробиологических исследований. Результаты определения КМАФАнМ представлены в табл. 23.

Таблица 23 – КМАФАнМ на поверхности туш свиней, обездвиженных без нарушений, и свиней, погибших при обездвиживании

№ туши, п/п	КМАФАнМ, КОЕ/см ² , в зависимости от результата процесса обездвиживания		
	отсутствие нежелательного события	наступление нежелательного события	
№1	1,5x10 ⁵	4,0x10 ⁶	
№2	3,2x10 ⁵	6,0x10 ⁶	
№3	4,9x10 ⁵	8,2x10 ⁶	
№4	2,0x10 ⁶	4,0x10 ⁵	
№5	6,3x10 ⁵	3,2x10 ⁷	
№6	4,7x10 ⁵	2,1x10 ⁶	
№7	1,7x10 ⁶	2,0x10 ⁶	
№8	4,6x10 ⁵	2,2x10 ⁶	
№9	7,7x10 ⁵	1,7x10 ⁶	
№ 10	4,0x10 ⁶	2,2x10 ⁶	
№ 11	8,0x10 ⁵	2,2x10 ⁷	
№ 12	6,3x10 ⁵	2,0x10 ⁶	
№13	1,1x10 ⁵	6,1x10 ⁶	
№ 14	6,0x10 ⁶	2,0x10 ⁶	
№ 15	5,5x10 ⁵	1,4x10 ⁶	
№ 16	4,0x10 ⁶	2,0x10 ⁶	
min	1,5x10 ⁵	4,0x10 ⁵	
max	6,0x10 ⁶	3,2x10 ⁷	

Как видно из табл. 23, поверхность туш свиней, погибших при обездвиживания, характеризовалась количеством микроорганизмов порядка 10^5 - 10^7 КОЕ/см², в то время как туши свиней, сохранивших сердечную деятельность, имели не более порядка 10^6 КОЕ/см². Предположительно, такая разница связана с тем, что эффективное обескровливание туш при неработающем сердце не представляется возможным, в то же время туши с недостаточным обескровливанием являются хорошей питательной средой для роста микроорганизмов.

По результатам масс-спектрофотометрического анализа смывов с поверхности туш определен состав микроорганизмов, присутствовавших на поверхности туш (табл. 24).

Таблица 24 — Состав микроорганизмов на поверхности мяса, полученного от свиней, обездвиженных без нарушений, и от погибших при обездвиживании

Наименование	Доля туш, в которых определены микроорганизмы данного		
рода	рода, %, в зависимости от результата процесса		
микроорганизмов	обездвиживания		
	отсутствие нежелательного	наступление	
	события	нежелательного события	
1	2	3	
Возмож	ные представители кишечной микр	робиоты свиней,	
в том	и числе содержащие условно-пато	генные виды	
Acinetobacter	18,75	12,50	
Candida	56,25	87,50	
Citrobacter	0,00	6,25	
Corynebacterium	6,25	0,00	
Enterobacter	25,00	18,75	
Enterococcus	6,25	0,00	
Escherichia	50,00	81,25	
Ewingella	25,00	6,25	
Lactobacillus	12,50	6,25	
Providencia	0,00	6,25	
Pseudomonas	100,00	100,00	
Rothia	0,00	12,50	
П	рочие условно-патогенные микрос	рганизмы	
Aeromonas	0,00	12,50	
Arthrobacter	12,50	6,25	
Lactococcus	18,75	12,50	
Myroides	0,00	6,25	
Raoultella	0,00	6,25	
Rhodotorula	6,25	6,25	
Serratia	0,00	6,25	
Staphylococcus	6,25	6,25	
Trichosporon	6,25	0,00	

Окончание таблицы 24

1	2	3
	Прочие непатогенные микроорган	НИЗМЫ
Brochothrix	31,25	6,25
Carnobacterium	0,00	6,25
Kocuria	6,25	0,00
Macrococcus	56,25	37,50
Pantoea	12,50	0,00
Shewanella	0,00	6,25
Yarrowia	6,25	0,00

Газовое обездвиживание имеет повышенный микробиологический риск по сравнению электрооглушением, так как во время более длительного периода отсутствия чувствительности перед заколом мускулатура животных расслабляется, и может наблюдаться фекальное загрязнение туш [106, 107]. В этой связи представляло интерес выявление присутствия на тушах кишечных эндобионтов свиней.

Доля туш, контаминированных теми или иными родами микроорганизмов, характеризовала частоту их встречаемости на тушах. Так, например, все исследованные туши, независимо от наличия или отсутствия сердечной деятельности у животных после обездвиживания, были контаминированы микроорганизмами рода *Pseudomonas*.

В целом, туши от животных, сохранявших сердечную деятельность после обездвиживания, имели контаминацию, характеризовавшуюся меньшим количеством родов микроорганизмов (18 родов). При этом микроорганизмы родов *Candida* и *Macrococcus* были обнаружены на 9 из 16 туш (56,3 %), род *Escherichia* – на 8 из 16 туш (50 %).

Микрофлора туш, полученных от животных, погибших при обездвиживании, характеризовалась большим многообразием родов (23 рода). Микроорганизмы рода *Candida* были обнаружены на 14 из 16 туш (87,5 %), рода *Escherichia* — на 13 из 16 туш (81,3 %). При этом, на отдельных тушах были выделены микроорганизмы — возможные представители кишечной микрофлоры —

еще трех родов Enterococcus, Providencia и Rothia, что могло быть следствием дополнительной фекальной контаминации.

Часть микроорганизмов, обнаруженных на поверхности туш, распространены крайне широко (*Macrococcus*, *Pantoea*, *Rhodotorula*, *Serratia*, *Staphylococcus*) [108-112], в том числе в воде (*Pseudomonas*, *Myroides*, *Raoultella*) [113-115], и могли оказаться на тушах после операций по первичной переработке (в том числе при влажной зачистке) или при контакте туш друг с другом во время перемещений между цехами и охлаждения.

В то же время количество туш, на которых были обнаружены кишечные эндобионты *Escherichia* и *Candida* [116, 117], в группе животных, погибших при обездвиживании, на 31,25 % больше, чем в группе нормально обездвиженных животных. Предположительно, род *Candida*, основным ареалом обитания которого являются слизистые оболочки животных, мог попасть на туши во время шпарки или при контакте с другими тушами. *Escherichia* является типичным представителем кишечной микробиоты, и одной из возможных причин его обнаружения на внутренней части туши, возможно, также может являться контаминация фекальными загрязнениями во время шпарки. Это касается и других кишечных эндобионтов.

Таким образом, результаты микробиологических исследований показали, что не только качество, но и микробиологическая безопасность продуктов убоя свиней может быть снижена в результате преждевременной гибели животных при обездвиживании.

По результатам исследований продуктов убоя, полученных от свиней, погибших в камере обездвиживания, проведена оценка вероятности последствий реализации риска (Risk1) и установлена их тяжесть (табл. 25).

Таблица 25 – Вероятность реализации рисков и тяжесть последствий

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

Предложены следующие меры по снижению ущерба от последствий наступления нежелательного события: увеличение времени промывки субпродуктов (в центрифуге или вручную) и сортировка туш по направлениям использования (например, направление на переработку).

Таким образом, гибель животных во время обездвиживания, помимо нарушения Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 034/2013 влечет за собой ухудшение качества и безопасности туш животных, выражающееся в кровенаполнении внутренних органов, суставных сумок, снижении органолептических качеств шпика, увеличении массовой доли влаги и капельных потерь в мышечной ткани, а также к повышенной микробной контаминации, что, как следствие, может приводить к снижению объема выпуска пищевых субпродуктов и кусковых продуктов из мяса, повышенному отделению влаги в упакованной продукции, развитию окислительной порчи шпика и другим последствиям.

3.4 Определение источников риска гибели свиней при обездвиживании и оценка их управляемости

Для определения источников риска составлена и проанализирована причинно-следственная модель (диаграмма Исикавы) появления нежелательного события (рис. 29).

При построении диаграммы Исикавы использовали литературные данные и практический опыт специалистов предприятий, на которых проводили исследования.

Диаграмма Исикавы является эффективным аналитическим средством, позволяющим установить взаимосвязь между решаемой проблемой и причинами ее возникновения, которые поддаются управлению [86].

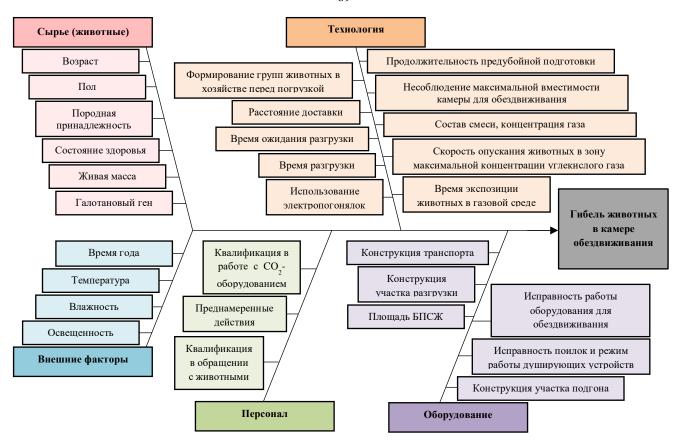


Рисунок 29 – Причинно-следственная модель появления нежелательного события

Все причины, оказывающие влияние на вероятность появления нежелательного события, были представлены пятью группами: животные (сырье), технология, персонал, оборудование и внешние факторы.

Анализ полученной модели показал, что причины риска гибели животных в камере обездвиживания могли иметь как внутренний (эндогенный), так и внешний (экзогенный) характер.

К внутренним факторам, являющимся особенностями животных (сырья), были отнесены возраст, пол, породная принадлежность и генетическая предрасположенность животных к стрессу (наличие галотанового гена), состояние их здоровья и живая масса.

К факторам, воздействующим на животных извне, отнесли:

- внешние факторы: сезонность, температуру и влажность (погодные явления), время суток (естественную освещенность);
- влияние персонала предприятия: квалификацию персонала
 в обращении с животными и работе с установкой для газового обездвиживания,

а также преднамеренные действия – нарушение инструкций и жестокое обращение с животными;

- оборудование: конструктивные особенности транспорта, участка разгрузки, базы предубойного содержания и участка подгона, а также исправность/корректность работы оборудования для комфортного отдыха животных на базе предубойного содержания (поилок и душирующих устройств) и установки для обездвиживания;
- применяемую технологию: период адаптации животных друг к другу после формирования групп (партий) для отправки из хозяйства, расстояние транспортирования животных, время ожидания разгрузки при прибытии на предприятие, продолжительность разгрузки и используемые для этого устройства, продолжительность предубойной подготовки животных, количество голов животных, занимающих одну гондолу; концентрацию газа в камере обездвиживания и время экспозиции животных, а также скорость опускания гондол с животными в зону максимальной концентрации газа.

На основе экспертной оценки на обследованных предприятиях 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. 26).

В группу 0 («управление невозможно») отнесены такие источники рисков, как сезонность, влажность и температура окружающей среды; в группу 1 («управление возможно в долгосрочной перспективе и требует значительных затрат») – смена используемой породы свиней; в группу 2 («управление возможно в среднесрочной перспективе и требует значительных затрат») – увеличение площади базы предубойного содержания.

Таблица 26 – Результаты оценки управляемости источниками риска

Категория	Источник риска	Управляемость, баллы
риска Внешние	Таминатура аменулуманану прави	0аллы ()
	Температура окружающей среды	0
факторы	Влажность	
	Время года	0
210	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	2
	животных	
	Исправность поилок и режим работы	3
	душирующих устройств	
	Конструкция участка подгона	2
	Некорректная работа оборудования для	2
	обездвиживания	
Персонал	Квалификация в обращении с животными	3
	Квалификация в работе с оборудованием для	3
	обездвиживания	
	Преднамеренные действия (жестокое	3
	обращение и невыполнение инструкций)	
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	3
	камеры для обездвиживания	3
	Скорость опускания животных в зону	2
	максимальной концентрации углекислого газа	
	Формирование групп животных в хозяйстве	2
	перед погрузкой	2
		3
	Время экспозиции животных в камере	3
	обездвиживания	

В группу 3 отнесены источники рисков, управление которыми возможно в краткосрочной перспективе и не требует значительных затрат:

- освещенность;
- исправность поилок и режим работы душирующих устройств;
- квалификация в обращении с животными;
- квалификация в работе с оборудованием для обездвиживания;
- преднамеренные действия (жестокое обращение с животными, невыполнение инструкций);
 - время ожидания разгрузки;
 - время разгрузки;
 - использование электропогонялок.

Таким образом, около трети всех источников риска поддаются управлению без значительных затрат и перестройки производства.

3.5 Изучение влияния источников риска на его реализацию

Влияние каждого источника риска на возникновение нежелательного события оценивали на основании литературных данных и экспертной оценки специалистов отрасли. Также в условиях мясокомбинатов были проведены экспериментальные исследования влияния двух источников — экзогенного (расстояние транспортирования) и эндогенного (породный фактор).

3.5.1 Изучение влияния расстояния транспортирования свиней на прижизненные и послеубойные показатели^{*}

Исследование проводили на товарных свиньях-гибридах (крупная белая х ландрас х дюрок), поступивших из двух хозяйств (N=40, n=20). Содержание и откорм свиней осуществляли по идентичной технологии. Данные, характеризующие опытные группы свиней, приведены в табл. 27.

_

^{*} Материалы, изложенные в п. 3.5.1, опубликованы в работе [136].

Таблица 27 – Характеристика опытных групп свиней

		Характеристика	
Показатель	для группы		
	1	2	
Количество животных, голов	20	20	
Средняя масса животных, кг		87,2±8,2	
Расстояние транспортирования, км		210	
Продолжительность транспортирования, минут		180	
Общее время голодной выдержки, ч	10	15	
Время нахождения на базе предубойного содержания	345	395	
до начала убоя партии животных, мин.			

Статистически значимых различий между группами по массе животных не было (p=0,26). Расстояние транспортирования различалось в 2,8 раза, что, в свою очередь, влияло на увеличение продолжительности транспортирования в 2 раза и увеличение времени голодной выдержки в 1,5 раза. Время нахождения животных на базе предубойного содержания различалось в на 50 минут (для животных группы 2 было отведено больше времени на адаптацию и отдых).

Средние значения параметров окружающей среды во время транспортирования опытных групп представлены в табл. 28.

Таблица 28 – Параметры окружающей среды во время транспортирования

Показатель	Характеристика (средние значения)
Температура атмосферного воздуха, °С	15,0±2,0
Влажность воздуха, %	74,5±2,5
Атмосферное давление, мм рт. ст.	752±2
Скорость ветра, м/с	1,9±0,5

По результатам мониторинга состояния свиней после обездвиживания доля свиней с отсутствием сердечных сокращений в группе 1 составила 8,3%; в группе 2 — 10,0%. Признаков чувствительности у свиней во всех опытных группах не наблюдалось.

Оценка состояния внутренних органов позволила определить различную степень их кровенаполнения и дефекты (рис. 30, 31 и 32).

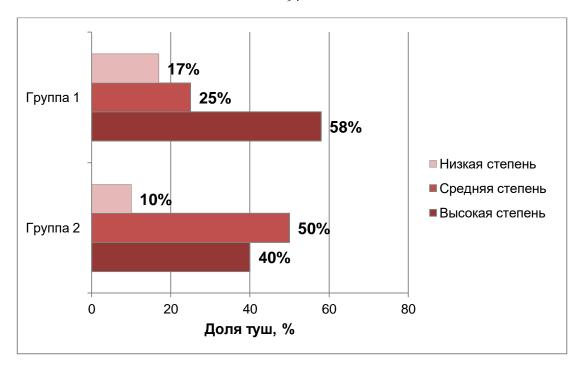


Рисунок 30 — Распределение туш свиней опытных групп по степени кровенаполнения сердца

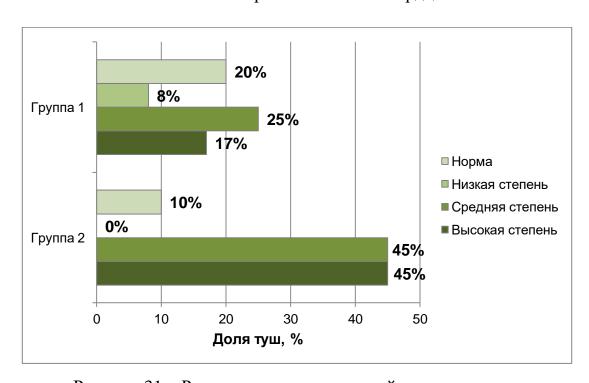


Рисунок 31 — Распределение туш свиней опытных групп по степени кровенаполнения легких

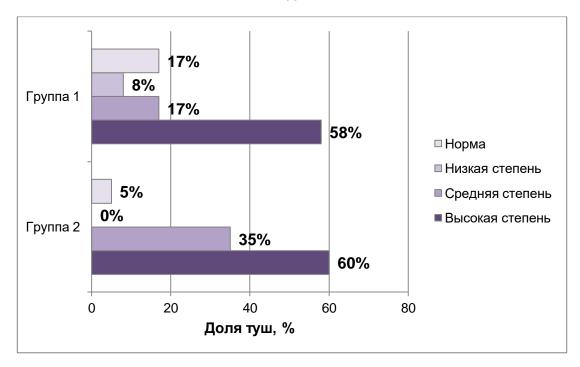


Рисунок 32 — Распределение туш свиней опытных групп по степени кровенаполнения печени

83 % сердец свиней группы 1 и 90 % сердец свиней группы 2 имели неудовлетворительное обескровливание (среднюю высокую степень кровенаполнения). TO время легкие свиней группы 1 же имели неудовлетворительное обескровливание в 43 % случаев, а группы 2 – 90 %; печень свиней группы 1 – 75 %, группы 2 – 95 %. Предположительно, такая разница может быть связана с нетипичным физиологическим состоянием животных, вызванным транспортным стрессом. В исследовании Edwards L.N. [39] по оценке гуманности газового обездвиживания поросята с нарушениями физиологического состояния также имели значительное кровенаполнение легких.

Величину рН измеряли в *m. L. dorsi* в парных тушах в течение первого часа после убоя, после охлаждения туш – через 24 и 48 часов (табл. 29).

Характер изменения величины pH, согласно усредненным значениям, соответствовал нормальному течению автолиза, однако статистически значимых различий между группами не было, что согласуется с данными исследования Gajana C.S. с соавт. [118], показывавшим, что риск развития порока PSE не всегда зависит от расстояния и может быть большим при меньшей длительности

транспортирования. В то же время в группе 1 было отмечено только 8,3 % туш с величиной рН ниже 5,6, а в группе 2-42,1 %.

Таблица 29 – Характеристика величины pH m. L. dorsi

	Величина рН				
№ группы	Среднее	Минимальное	Максимальное	211011011110 1	
	значение (S±m)	значение (min)	значение (тах)	Значение р	
	через	з 1 час после убоя	F		
Группа 1	$6,27\pm0,18$	5,87	6,49	0.00	
Группа 2	$6,30\pm0,16$	6,05	6,55	0,90	
	через 2	24 часа после убо	RC		
Группа 1	5,80±0,23	5,41	6,48	0.84	
Группа 2	5,75±0,10	5,57	5,95	0,84	
через 48 часов после убоя					
Группа 1	5,70±0,19	5,50	6,25	0.67	
Группа 2	5,61±0,09	5,49	5,80	0,67	

Измерение цвета мышечной ткани в системе CIELab через 48 часов после убоя (табл. 30) показало, что статистически значимых различий цвета мышечной ткани *т. L. dorsi* в образцах, полученных от двух групп животных, по светлоте, красноте и желтизне не было. Через 48 часов после убоя светлота (L) *т. L. dorsi* в обеих группах имела значения несколько выше, чем для свинины группы качества NOR (L=42-50) согласно классификации Warner R.D. с соавт. [119].

Таблица 30 – Цветовые характеристики m. L. dorsi

	Результаты измерения цвета			
№ группы	Среднее	Минимальное	Максимальное	Значение р
	значение (S±m)	значение (min)	значение (тах)	значение р
		L (светлота)		
Группа 1	55,70±2,94	52,30	58,76	0,95
Группа 2	55,40±3,74	47,39	60,85	0,93
		а (краснота)		
Группа 1	4,68±1,19	3,48	6,14	0,80
Группа 2	4,18±1,56	2,72	5,92	0,80
b (желтизна)				
Группа 1	9,89±1,43	8,35	11,68	0,87
Группа 2	10,27±1,86	7,14	12,28	0,87

Результаты определения массовой доли влаги и влагоудерживающей способности (ВУС) в образцах длиннейшей мышцы спины, отобранных через 48 часов после убоя, представлены в табл. 31.

Таблица 31 – Массовая доля влаги и влагоудерживающая способность m. L. dorsi

	Результаты измерения				
№ группы	Среднее	Минимальное	Максимальное	2wayayya n	
	значение (S±m)	значение (min)	значение (тах)	Значение р	
	Массовая доли влаги, %				
Группа 1	72,1±8,2	69,4	74,4	0.88	
Группа 2	70,1±9,7	67,3	73,9	0,88	
ВУС, % к массовой доле влаги					
Группа 1	54,95±3,00	56,21	57,91	0.50	
Группа 2	51,58±3,90	46,09	50,59	0,50	

Статистически значимых отличий между группами по показателям массовой доли влаги и ВУС не обнаружено. Значения ВУС находились в диапазонах, характерных для мяса PSE.

Проведены микроструктурные исследования образцов мышечной ткани *т. L. dorsi* через 48 часов после убоя.

Микроструктура образцов мышечной ткани группы 1 через 48 часов характеризовалась прямыми мышечными волокнами, границы между ними были различимы. Поперечная исчерченность была выражена отчетливо во всех волокнах, длина саркомеров составила 2,9-3,2 мкм. Деструктивные изменения носили выраженный характер в виде множественных поперечных трещин или фрагментации волокон с разрушением миофибриллярной субстанции до мелкозернистой белковой массы и нарушением целостности сарколеммы. Структура мышечной ткани соответствовала стадии собственно созревания мяса согласно ГОСТ 19496.

Микроструктура образцов мышечной ткани группы 2 через 48 часов характеризовалась прямыми или слегка волнистыми мышечными волокнами с четко выраженной поперечной исчерченностью, длина саркомеров составила 2,9-3,0 мкм. Продольная исчерченность не выражена. Деструктивные изменения

не выявлены или обнаружены в виде микротрещин. Структура мышечной ткани соответствовала стадии разрешения посмертного окоченения. 20 % образцов мышечной ткани от туш свиней группы 2 имели морфологические характеристики, свойственные свинине с пороком качества PSE (отдельные полосы сверхсокращения длиной до 400 мкм с разрывами миофибриллярной субстанции или деструкции в виде узких поперечных трещин).

Микроструктурные исследования подтвердили наличие 20 % образцов с признаками порока PSE в группе 2, в то время как в группе 1 такие образцы не выявлены.

Согласно зарубежным исследованиям, транспортный стресс может усиливаться при нахождении свиней в пути порядка 2 ч, однако впоследствии механизмы адаптации способны частично нивелировать его [58, 118]. При этом необходимо учитывать, что процесс газового обездвиживания может давать неудовлетворительный результат при возникновении предубойного стресса свиней [68].

Исследование показало, что увеличение расстояния транспортирования с 74 до 210 км не оказывало достоверного влияния на средние значения функционально-технологических показателей качества мяса — величины рН, цвета, ВУС. Однако это приводило к увеличению количества свиней, погибавших при обездвиживании, на 1,7%; количества легких и печени с высокой степенью кровенаполнения, а также к выявлению 20 % туш, мышечная ткань которых имела морфологические признаки мяса PSE, и до 42,1 % туш с величиной рН ниже 5,6, что, предположительно, явилось следствием транспортного стресса [71, 120].

Вместе с тем, есть предположение, что доля погибших животных в группе 2 могла быть выше, если бы время нахождения животных на базе предубойного содержания не было увеличено.

3.5.2 Изучение влияния породного фактора свиней на прижизненные и послеубойные показатели *

Исследование проводили на трех группах товарных свиней (N=110) пород крупная белая (группа 1, n=37), дюрок (группа 2, n=35) и ландрас (группа 2, n=38), поступивших из одного хозяйства.

Живая масса свиней составляла $93,4\pm11,5$ кг, $99,2\pm9,6$ кг и $89,3\pm10,2$ кг в 1, 2 и 3 группах, соответственно. Статистически значимой разницы между живой массой свиней в разных группах не было.

Результаты мониторинга состояния свиней после обездвиживания представлены в табл. 32.

№ группы	Доля свиней с	Доля свиней с	Доля свиней с
	отсутствием	признаками удушья и	признаками
	чувствительности	отсутствием ЧСС, %	чувствительности, %
	и наличием ЧСС, %		
1 (крупная белая)	63,6	31,4	5,0
2 (дюрок)	75,4	6,2	18,4
3 (ландрас)	67,8	32,2	0,0

Таблица 32 – Результаты мониторинга состояния свиней после обездвиживания

Отмечено, что смертность свиней породы дюрок (группа 2) при обездвиживании была в пять раз ниже по сравнению с другими группами, при этом свиньи этой группы сохраняли чувствительность в 3,5 раза чаще по сравнению со свиньями крупной белой породы (группа 1). В группе 3 (ландрас) свиней, сохранивших чувствительность, не было.

От 32 произвольно выбранных свиней в каждой группе (N=96) во время обескровливания отбирали кровь, которую в течение 20 минут после убоя направляли на центрифугирование с получением плазмы для проведения биохимического анализа (табл. 33).

-

 $^{^*}$ Материалы, изложенные в п. 3.5.2, опубликованы в работах [137-139].

Таблица 33 – Результаты биохимического анализа плазмы крови свиней

Показатель	Норма	Значение показателя для группы		
	[121]	1 (крупная белая)	2 (дюрок)	3 (ландрас)
Триглицериды, мМоль/л	0,22-1,28	0,66±0,03*	0,50±0,03*	0,58±0,03*
Глюкоза, мМоль/л	3,7-6,4	9,2±0,5*	8,0±0,4	8,1±0,4
ЛДГ, ЕД/л	160-425	671,38±26,37*	766,89±42,52	841,41±42,92
КФК, ЕД/л	66-489	1515,81±168,37*	2153,69±412,09	2077,64±212,00
Креатинин, мкМоль/л	61-167	120,4±1,7*	110,8±1,3*	132,2±2,3*
* p<0,05				

Содержание глюкозы, активность ЛДГ и КФК были выше нормы у всех опытных свиней (в среднем на 33 %, 79 % и 292 %, соответственно), что могло быть связано с активизацией процесса ПОЛ, сильным возбуждением животных, недостаточностью кровообращения, а также, в отношении КФК, явиться следствием воздействя газовой смеси, судорог и травм. Уровень триглицеридов находился в норме, при этом различия между группами могли быть следствием активизации процессов ПОЛ, гипоксии и стресса, а также зависимости уровня триглицеридов от уровня глюкозы. Повышение содержания креатинина в плазме крови могло быть следствием физических нагрузок, судорог и травм животных во время обездвиживания.

От 20 свиных туш, выбранных произвольно от каждой партии (N=60, n=20), отбирали для осмотра внутренние органы. По результатам оценки состояния внутренних органов определена доля туш свиней разных пород с сердцем, легкими и печенью, имевшими различную степень кровенаполнения (рис. 33, 34 и 35, соответственно).

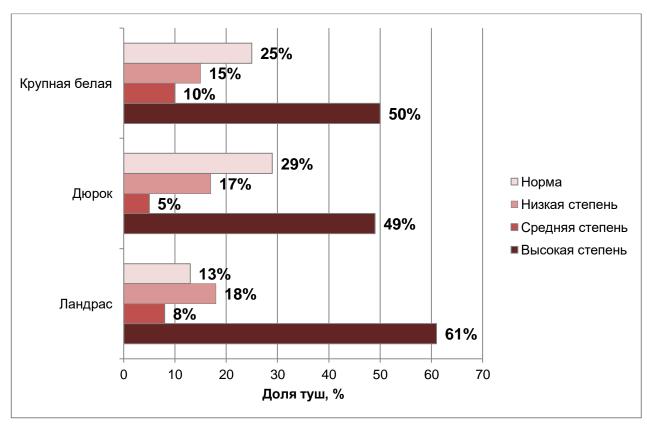


Рисунок 33 — Распределение туш свиней трех пород по степени кровенаполнения сердца

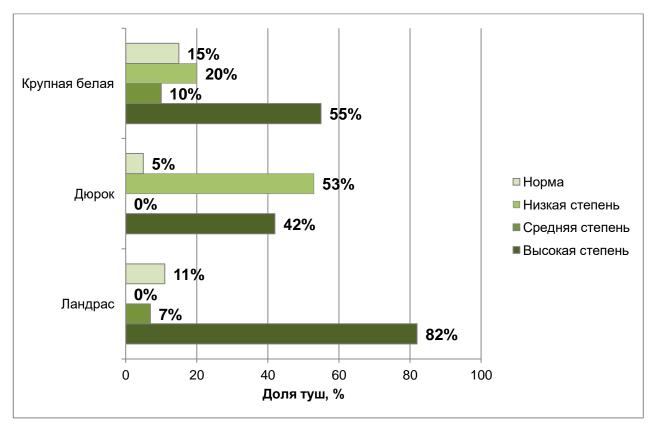


Рисунок 34 — Распределение туш свиней трех пород по степени кровенаполнения легких

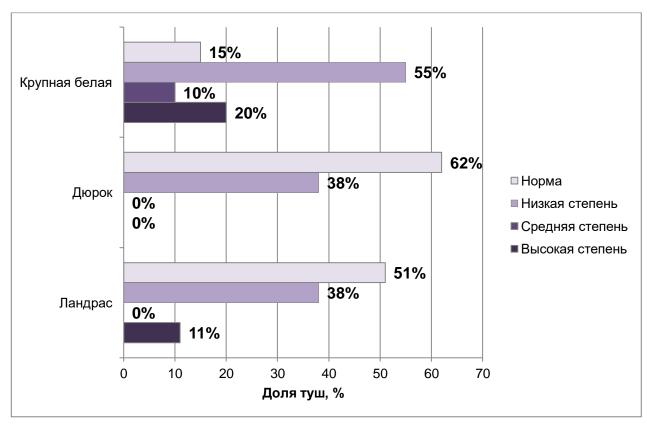


Рисунок 35 — Распределение туш свиней трех пород по степени кровенаполнения печени

60 % сердец свиней породы крупная белая, 54 % сердец свиней дюрок и 69 % сердец свиней ландрас имели неудовлетворительное обескровливание (среднюю и высокую степень кровенаполнения). Легкие свиней породы крупная белая имели неудовлетворительное обескровливание в 65 % случаев, дюрок – 42 %, ландрас – 89 %; печень свиней породы крупная белая – 30 %, ландрас – 11 %. Печень свиней породы дюрок имела удовлетворительную степень обескровливания во всем объеме выборки. Предположительно, разница в степени обескровливания внутренних органов связана с гибелью животных во время обездвиживания и последующей невозможностью полного обескровливания туш.

Средние данные измерений величины pH свинины через 1 час и 24 часа после убоя представлены в табл. 34 (N=110, n_1 =37, n_2 =35, n_3 =38).

Таблица 34 – Величина рН полутуш через 1 час и 24 часа после убоя

Группа	pH_1	pH_{24}
1 (крупная белая)	6,12±0,05	5,58±0,02
2 (дюрок)	6,33±0,03	5,60±0,02
3 (ландрас)	6,22±0,03	5,60±0,01

Значение величины pH_1 в группе свиней дюрок было выше, что, предположительно, могло быть связано с более высокой массой туш животных этой группы и, соответственно, более низкой скоростью снижения их температуры при первичной переработке. Так, средняя температура туш в группах 1, 2 и 3 через час после убоя составляла $36,2\pm0,7$ °C, $39,7\pm0,2$ °C и $39,1\pm0,2$ °C, соответственно. Величина pH_{24} не имела статистически значимых различий в трех опытных группах.

Определяли потери массы туш при охлаждении (N=110, n_1 =37, n_2 =35, n_3 =38). Также от 10 туш, выбранных произвольно от каждой партии (N=30, n=10), отбирали образцы мышечной ткани *L. dorsi* для определения массовой доли влаги, капельных потерь ВУС (табл. 35).

Таблица 35 – Потери туш при охлаждении, капельные потери, ВУС m. L. dorsi

Показатель	Значение показателя для группы		
	1 (крупная белая) 2 (дюрок) 3 (ландра		3 (ландрас)
Потери туш при охлаждении, %	2,28	2,70	2,52
Капельные потери, %	6,35±0,38*	3,79±0,24*	5,13±0,33*
ВУС, % к общей влаге	53,72±0,73	54,90±0,57	56,51±0,52
Массовая доля влаги, %	74,73±0,28	72,25±0,50*	75,11±0,27
* p<0,05			

Мясо свиней породы дюрок имело самые низкие капельные потери по сравнению с другими породами (на 40 % ниже, чем мясо свиней породы крупная белая, и на 26 % ниже, чем мясо свиней ландрас). В то же время туши свиней дюрок имели самые высокие потери при охлаждении, что, вероятно, повлияло на снижение дальнейших потерь мяса после разделки.

Цвет свинины (N=30, n=10) определяли на свежем срезе m. L. dorsi (табл. 36). Цвет мышечной ткани по показателям светлоты, красноты и желтизны в опытных группах достоверно не различался (p>0,05).

Таблица 36 – Цветовые характеристики m. L. dorsi

Показатель	Значение показателя для группы		
Показатель	1 (крупная белая)	2 (дюрок)	3 (ландрас)
L (светлота)	55,04±0,95	55,40±3,74	56,84±0,85
а (краснота)	2,87±0,25	3,14±0,69	3,40±0,32
b (желтизна)	8,13±0,12	8,44±0,47	8,67±0,27

Исследование показало, что при одинаковых условиях выращивания, транспортирования и предубойной подготовки породный фактор оказал влияние на наступление нежелательного события (гибель животных при обездвиживании).

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 – самые низкие капельные потери (на 40 % ниже, чем мясо свиней породы крупная белая, и на 26 % ниже, чем мясо свиней ландрас), что согласуется с работой Čobanović, N. и соавт. [140].

Вместе с тем, породный фактор не оказал достоверного влияния на pH_{24} , цвет и ВУС.

3.6 Анализ и сравнительная оценка риска

На основании литературных данных, экспертной оценки специалистов отрасли и собственных экспериментальных исследований оценено влияние каждого источника 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. Из процедуры оценки влияния источников риска исключены источники риска с управляемостью 0. Результаты оценки влияния источников риска представлены в табл. 37.

Таблица 37 – Результаты оценки влияния источников риска

Категория	Источник риска	Влияние,
риска		баллы
Внешние	Освещенность	2
факторы		
Животные	Возраст	0
	Пол	2
	Породная принадлежность	2
	Состояние здоровья	2
	Живая масса	0
	Галотановый ген	2
Оборудование	Конструкция транспортного средства	1
	Конструкция участка разгрузки	1
	Площадь базы предубойного содержания	1
	животных	
	Исправность поилок и режим работы	2
	душирующих устройств	
	Конструкция участка подгона	1
	Некорректная работа оборудования для	2
	обездвиживания	
Персонал	Квалификация в обращении с животными	2
-	Квалификация в работе с оборудованием для	1
	обездвиживания	
	Преднамеренные действия (жестокое	2
	обращение с животными, невыполнение	
	инструкций)	
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	1
	камеры для обездвиживания	
	Скорость опускания животных в зону	2
	максимальной концентрации углекислого газа	
	Формирование групп животных в хозяйстве	2
	перед погрузкой	
	Время экспозиции животных в камере	2
	обездвиживания	

Ранг источника риска предложено рассчитывать по формуле (1):

$$PH = B\pi + Y\pi p, \tag{1}$$

где РИ – ранг источника риска;

Вл – влияние источника риска;

Упр – управляемость источника риска.

Для ранжирования источников риска на основе работы [99] была разработана матрица оценки источников риска (рис. 36).

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 36 – Матрица оценки источников риска

При помощи матрицы оценки источников риска ранжированы выявленные ранее источники риска (табл. 38).

Таблица 38 – Результаты ранжирования источников риска

Ранг источника	Источник риска
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

Окончание таблицы 38

1	2
Средний	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.

3.7 Обработка риска и производственная апробация

Для минимизации влияния источников риска на возникновение нежелательного события разработаны следующие корректирующие мероприятия:

а) полутуши и отрубы, имеющие недостаточное обескровливание, величину pH_{24} ниже 5,6, капельные потери больше 3 %, следует направлять на переработку, исключая изготовление кусковых полуфабрикатов (рис. 37);

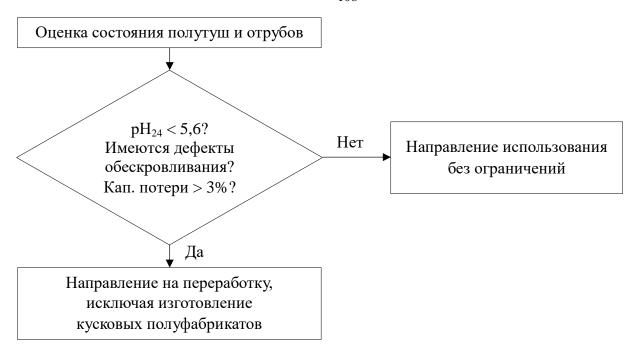


Рисунок 37 – Алгоритм определения направления использования полутуш и отрубов

б) шпик, окрашенный кровью, имеющий кровоизлияния, не удаляемые путем зачистки следует направлять на переработку, исключая изготовление продуктов из шпика и его применение в качестве структурного компонента в мясной продукции (рис. 38);

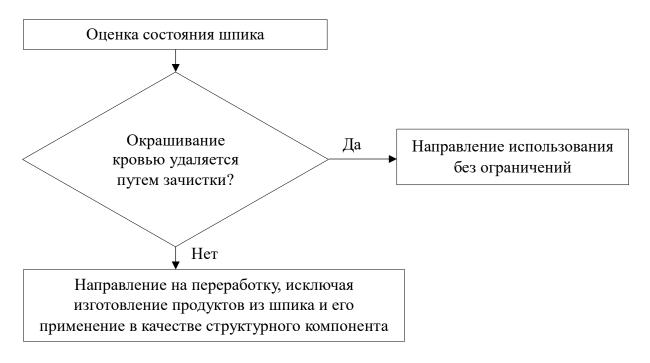


Рисунок 38 – Алгоритм определения направления использования шпика

в) субпродукты, имеющие недостаточное обескровливание, направляют на кормовые цели, либо на пищевые цели, исключая реализацию в охлажденном виде (рис. 39). Для субпродуктов, технология обработки которых подразумевает промывку вручную или на центрифуге, увеличивают продолжительность промывки.

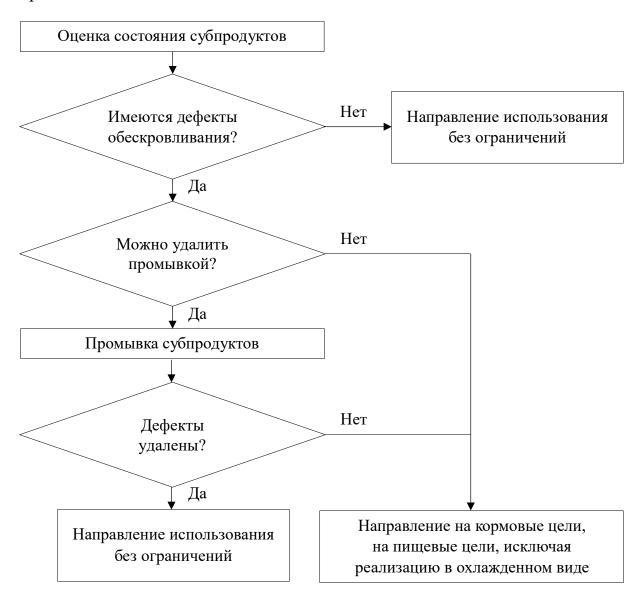


Рисунок 39 – Алгоритм определения направления использования субпродуктов

Для снижения вероятности реализации риска разработан комплекс предупреждающих мероприятий (табл. 39).

По срокам реализации и затратам на исполнение предупреждающие мероприятия подразделены на следующие категории: предупреждающие мероприятия краткосрочной перспективы – мероприятия, реализация которых

предполагается в срок от месяца до года; среднесрочной перспективы — от года до трех лет; долгосрочной перспективы — от трех до семи лет.

Таблица 39 – Предупреждающие мероприятия

<u>№</u>	Предупреждающее мероприятие Краткосрочная перспектива (от месяца до года)			
1	Краткосрочная перспектива (от месяна до года)			
1	Краткосрочная перспектива (от месяца до года)			
	Подбор режимов работы камеры обездвиживания с учетом особенностей			
	поступающего на переработку поголовья			
2	Регулирование освещенности в зонах разгрузки, предубойного содержан			
	и подгона к камере обездвиживания			
3	Разработка системы обращения с животными в соответствии			
	международными принципами Animal Welfare			
4	Оборудование базы предубойного содержания поилками и душирующим			
	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 состояния и работоспособности оборудования для			
	обездвиживания			
7	Повышение квалификации сотрудников в работе 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 (от месяца до года) осуществляют согласно предложенному алгоритму (рис. 40).

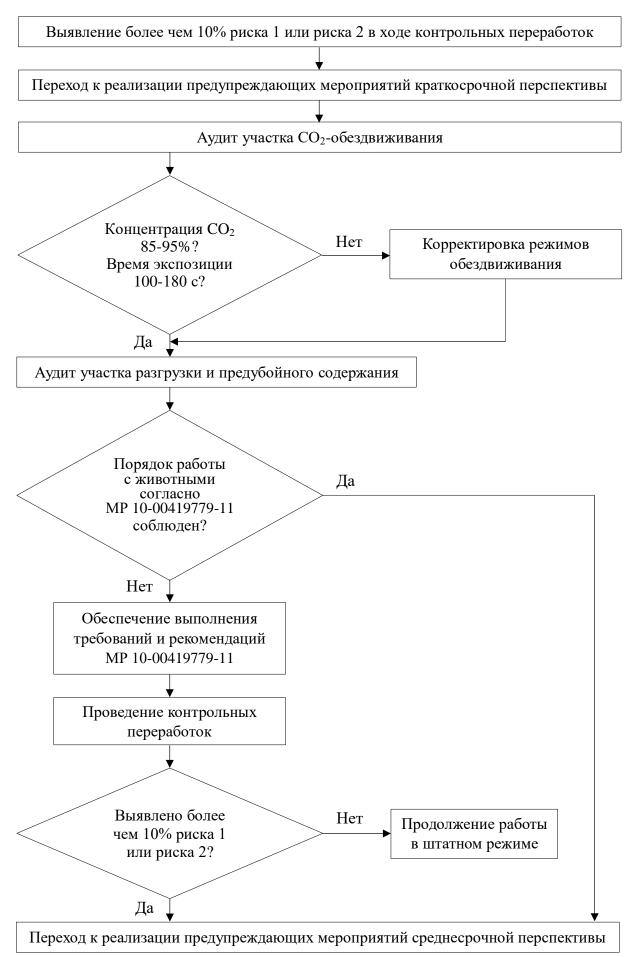


Рисунок 40 – Алгоритм предупреждающих мероприятий краткосрочной перспективы

В случае выявления по результатам контрольных переработок риска 1 (прекращение сердечной деятельности у животного во время обездвиживания в газовой камере) или риска 2 (сохранение чувствительности у животного после его выгрузки из газовой камеры) с вероятностью более 10 % проводят аудит участка газового обездвиживания. В ходе аудита участка проверяют режимы работы оборудования для обездвиживания: концентрация углекислого газа должна составлять от 85 до 95 %, рекомендуемое время экспозиции — от 100 до 180 секунд (предупреждающее мероприятие № 1).

Пороговое значение приемлемости риска 1 и риска 2-10 % — выбрано в соответствии с результатами собственных исследований и согласуется с [67].

После корректировки режимов обездвиживания свиней переходят к аудиту участка разгрузки и предубойного содержания. Рекомендации по проектированию и организации работы на участке — согласно разработанным Методическим рекомендациям МР 10-00419779-11 (предупреждающие мероприятия №№ 2-5).

В случае если после корректировки работы на участках газового обездвиживания, разгрузки и предубойного содержания по результатам контрольных переработок сохраняется более 10 % риска 1 или риска 2, переходят к реализации предупреждающих мероприятий среднесрочной перспективы.

Предупреждающие мероприятия среднесрочной перспективы направлены на разработку обеспечение бесперебойной работы оборудования для газового обездвиживания (предупреждающие мероприятия №№ 6-7) и регулирование факторов, способных влиять на возникновение стресса у свиней в период от погрузки в транспортное средство до потери чувствительности при обездвиживании (предупреждающие мероприятия №№ 8-11).

Реализация предупреждающих мероприятий №№ 6-7 также необходима в случае выявления по результатам контрольных переработок риска 3 (травмирование животного в процессе обездвиживания при выполнении подгона, погрузки в камеру, погружения в шахту и выгрузки из камеры) или риска 4 (задержка разгрузки и подачи животного на обескровливание свыше 3 минут) с вероятностью более 1 %.

Пороговое значение приемлемости риска 3 и риска 4-1 % — выбрано на основании результатов проведенного мониторинга мясокомбинатов.

Предупреждающие мероприятия долгосрочной перспективы направлены на регулирование факторов, способных влиять на возникновение стресса у свиней в период от погрузки в транспортное средство до потери чувствительности при обездвиживании (предупреждающие мероприятия №№ 12-16).

Рекомендации по порядку работы с живыми свиньями, отвечающие принципам благополучия животных и способствующие снижению вероятности реализации риска гибели свиней при обездвиживании, вошли в Методические рекомендации по совершенствованию условий транспортирования и предубойной подготовки свиней (МР 10-00419779-11, Приложение 2).

Эффективность разработанных мероприятий по управлению риском подтверждена в ходе контрольного убоя свиней на предприятии АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат». По результатам контрольного убоя 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 (Приложение 3).

Разработанные предупреждающие корректирующие И мероприятия включены в Методические рекомендации по управлению процессом газового обездвиживания свиней на основе анализа рисков (МР 10-00419779-12), прошедшие апробацию на предприятии АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» (Приложения 4, 5). Методические рекомендации содержат подробный алгоритм управления рисками, адаптированный ДЛЯ самостоятельного применения специалистами промышленных предприятий.

Результаты настоящей работы успешно использованы при выполнении работ по хозяйственным договорам ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН № 034.15.051, № 034.21.070 с предприятиями отрасли на общую сумму 1 720 000 рублей (Приложение 6).

3.8 Экономический эффект обработки риска

Согласно приведенным выше данным, при наступлении гибели животного в процессе обездвиживания качество мяса не позволяет эффективно использовать все отрубы для производства высокомаржинальной продукции, в частности, крупнокусковых полуфабрикатов (КК ПФ). Внедрение предлагаемого рискориентированного подхода дает возможность сократить долю погибших при обездвиживании животных до уровня приемлемости 10 %, что позволяет говорить об экономической эффективности данного подхода за счет разницы в маржинальной прибыли при реализации крупнокусковых и мелкокусковых полуфабрикатов (МК ПФ).

Для расчета экономической эффективности применены следующие параметры:

- 1. В качестве сырья для крупнокусковых полуфабрикатов приняты спиннопоясничный, шейно-лопаточный отрубы, внутренняя часть тазобедренного отруба и вырезка, полученные от туши второй категории в шкуре. Совокупный выход указанных отрубов согласно нормам [124] составляет 30,1 %.
- 2. Средняя стоимость продукции в розничной сети согласно открытым данным составляет 330 руб./кг для крупнокусковых полуфабрикатов, 160 руб./кг для мелкокусковых полуфабрикатов.
- 3. Средняя наценка розничной сети принята как 30 %, средняя маржа предприятия при реализации полуфабрикатов (ПФ) также 20 %.
 - 4. Масса охлажденной туши принята как 115 килограммов.
 - 5. График работы убойного цеха принят как 22 рабочих дня в месяц.
- 6. Расчет произведен для двух вариантов предприятий с разной производительностью убойного цеха (3020 и 1400 голов/сут.) и разной средней долей животных, погибающих во время обездвиживания (12 % и 23,3 %).

Расчет экономической эффективности производили по следующим формулам:

Маржа на КК П Φ = средняя цена КК П Φ * выход отрубов * коэффициент на розничную наценку * средняя маржа на П Φ ;

Маржа на МК П Φ = средняя цена МК П Φ * выход отрубов * коэффициент на розничную наценку * средняя маржа на П Φ ;

Разница в марже для одной туши = маржа на КК $\Pi\Phi$ — маржа на МК $\Pi\Phi$;

Экономический эффект в месяц = разница в марже на одной туше * кол-во голов в сутки * (доля мертвых животных фактическая — доля мертвых животных целевая) * кол-во рабочих дней в месяц;

Экономический эффект в год = экономический эффект в месяц * 12.

Согласно расчетам (табл. 40), при указанных параметрах выход отрубов составит 34,67 кг с одной туши. Разница в маржинальной прибыли при реализации крупнокусковых и мелкокусковых полуфабрикатов составит 825,14 руб. для одной туши, что при обозначенных параметрах производства позволит экономить 1 096 454,00 рублей в месяц и 13 157 448,06 рублей в год для предприятия 1 и 3 371 656,58 рублей в месяц и 40 459 878,91 рублей в год для предприятия 2 при внедрении предлагаемой методики управления рисками и снижении количества мертвых животных до уровня приемлемости 10 %.

Таблица 40 — Экономическая эффективность предлагаемого риск-ориентированного подхода

	Значение	
Показатель	Предприятие	Предприятие
	1	2
Производительность убойного цеха, голов в сут.	3020	1400
Средняя доля мертвых животных фактическая, %	12,0	23,3
Доля мертвых животных целевая, %	10,0	
Маржа на крупнокусковых, руб.	1 601,75	
Маржа на мелкокусковых полуфабрикатах, руб.	776,61	
Разница на одной туше, руб.	825,15	
Разница в месяц, руб.	1 096 454,00	3 371 656,58
Разница в год, руб.	13 157 448,06	40 459 878,91

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 смесь углекислого газа с воздухом с ускоренной подачей 1,5 л/мин. вследствие уменьшения периода обездвиживания в три раза, а также более высоких показателей состояния внутренних органов. Одновременно показано, 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 изменениям 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 небольшой долей гибели животных при обездвиживании (12,0 %) до 40,5 млн. рублей в год для предприятия со значительной долей гибели животных при обездвиживании (23,3 %).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

DFD – «dark firm dry» meat, порок качества мяса

N, n – размер выборки (общий; в группе)

Р – вероятность риска (последствия риска)

р – доверительная вероятность

PSE – «pale soft exudative» meat, порок качества мяса

АОА – антиокислительная активность

БАВ – биологически активные вещества

ВУС – влагоудерживающая способность мяса

КК ПФ – крупнокусковой полуфабрикат

КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и анаэробных микроорганизмов

КФК – креатинфосфокиназа

ЛДГ – лактатдегидрогеназа

ЛПЦ – латентный период выхода в центр арены

МДА – малоновый диальдегид

МК ПФ – мелкокусковой полуфабрикат

ПОЛ – перекисное окисление липидов

 $\Pi\Phi$ – полуфабрикат

СОД – супероксиддисмутаза

ЧСС – частота сердечных сокращений (в минуту)

ЭДТА – этилендиаминтетраацетат

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ковалев Ю.И. Насыщение внутреннего рынка главный фактор необходимости экспортоориентированной стратегии / Ю.И. Ковалев // IX Международная научно-практическая конференция «Свиноводство-2017. Рынок насыщен что дальше?». М.: МПА, 29-30 ноября 2017 г.
- 2. Ковалев Ю.И. Российское свиноводство: итоги 2020г. и перспективы развития до 2025 г. / Ю.И. Ковалев // Международная научно-практическая конференция «Ветеринария в АПК-2021». Новосибирск, 1 июня 2021 г.
- 3. Ковалев Ю.И. Текущие тенденции в свиноводстве России: адаптация к новым постпандемийным реалиям / Ю.И. Ковалев // XIII Международная научно-практическая конференция «Свиноводство-2021». М.: МПА, 8-9 декабря 2021 г.
- 4. Council Directive 98/58/EC of 20 July 1998 concerning the protection of animals kept for farming purposes // An official website of the European Union [сайт]. 2019. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/txt/?uri=celex%3a01998l0058-20191214 (дата обращения: 02.06.2022).
- 5. European Convention for the Protection of Animals kept for Farming Purposes (ETS No. 087) // An official website of the European Union [сайт]. 1978. https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=087 (дата обращения: 02.06.2022).
- 6. European Convention for the Protection of Animals for Slaughter (ETS No. 102) // An official website of the European Union [сайт]. 1982. URL: https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=102 (дата обращения: 02.06.2022).
- 7. Регламент совета (ЕС) № 1099/2009 от 24 сентября 2009 года о защите животных во время убоя // Официальный сайт Россельхознадзора [сайт]. 2009. URL: https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/laws/eu/2009-1099.pdf (дата обращения: 02.06.2022).
- 8. Stunning before slaughter in Denmark // Официальный сайт Датского технологического института [сайт]. 2018. URL: https://www.dti.dk/specialists/stunning-before-slaughter/37375 (дата обращения: 15.11.2018).
- 9. Results of the 2018 FSA Survey into Slaughter Methods in England and Wales // Официальный сайт Департамента по окружающей среде, продовольствию и сельскому хозяйству Правительства Великобритании [сайт]. 2019. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/

- uploads/attachment_data/file/778588/slaughter-method-survey-2018.pdf обращения: 02.06.2022).
- 10. Carbon Dioxide Stunning and Killing of Pigs Technical. Note No 19 // Ассоциация по гуманному убою [сайт]. 2018. URL: https://www.hsa.org.uk/downloads/technical-notes/tn19-carbon-dioxide-stunning-and-killing-of-pigs.pdf (дата обращения: 02.06.2022).
- 11. Red meat slaughterhouses: restraining, stunning, killing animals. Guidance // Официальный сайт Департамента по окружающей среде, продовольствию и сельскому хозяйству Правительства Великобритании [сайт]. 2022. URL: https://www.gov.uk/guidance/red-meat-slaughterhouses-restraining-stunning-killing-animals (дата обращения: 02.06.2022).
- 12. Mechanical, electrical or gas stunning; slaughter methods and monitoring signs of unconsciousness or consciousness // Официальный сайт Правительства Канады [сайт]. 2019. URL: https://www.inspection.gc.ca/food/food-specific-requirements-and-guidance/ meat-products-and-food-animals/slaughter-methods-and-monitoring/eng/ 1539372028443/1539372028884 (дата обращения: 02.06.2022).
- 13. Совет Евразийской экономической комиссии. Технические регламенты Таможенного союза. О безопасности мяса и мясной продукции: ТР ТС 034/2013: [принят Советом Евразийской экономической комиссии 9 окт. 2013 г.].
- 14. Технологические инструкции по переработке скота на предприятиях мясной промышленности. ВНИИМП, 2011. 63 с.
- 15. Правительство РФ. Распоряжения. Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: № 1364-р: [принято Правительством РФ 29 июн. 2016 г.]. Собрание законодательства Российской Федерации, N 28, 11.07.2016, ст. 4758; официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. 2016. URL: www.pravo.gov.ru, 05.07.2016, N 0001201607050014.
- 16. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть 1. Оборудование для убоя и первичной обработки [Текст]: учебное пособие. М.: КолосС, 2001. 551 с.
- 17. 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.
- 18. 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.
- 19. Banss Somnia CO₂ stunning system. Banss Animal Welfare: Брошюра. Banss Russia, 2016. 12 с.
- 20. Backloader G3 RelaX // Официальный сайт компании Marel [сайт]. URL: https://marel.com/media/yqddvddt/backloader_g3_relax_en.pdf (дата обращения: 02.06.2022).
- 21. Product sheet CO₂ stunning system // Официальный сайт компании Frontmatec [сайт]. URL: https://www.frontmatec.com/media/4007/ frontmatec-co2-stunning-system_en.pdf (дата обращения: 02.06.2022).
- 22. Deep carbon dioxide lifting system // Официальный сайт компании V-Cons group [сайт]. URL: http://vcons.be/ (дата обращения: 14.08.2021).
- 23. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals // The EFSA Journal, Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals [сайт]. − 2004. − № 45. − URL: http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/45 (дата обращения: 02.06.2022). − DOI:10.2903/j.efsa.2004.45.
- 24. 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.
- 25. Патент NL1020106CA1 Нидерланды, A22B3/00, A22B3/06. Animal stunning installation, especially for pigs, has animals transported along in vessels separated by variable distances along transport trajectory: заявл. 04.03.2002; опубл. 03.11.2003 / Post G.J.; Duitshof W.T.; заявитель и патентообладатель Stork MPS B.V. 14 с.: ил. Текст: непосредственный.
- 26. Патент WO/2001/091563 Нидерланды, A22B1/00; A22B3/00; A22B3/06; (IPC1-7): A22B3/00. Method and apparatus for at least stunning an animal for slaughter: заявл. 14.05.2001; опубл. 26.02.2004 / Ochten S.A.V.; заявитель и патентообладатель Ochten S.A.V. URL: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2001091563 (дата обращения: 02.06.2022).
- 27. Патент DE102008003865B3 Германия, A22B3/00; A22B3/02. Pigs stunning method, involves guiding pigs via chamber filled with argon for pre-stunning, and conveying pigs via another chamber filled with carbon-dioxide for final-stunning in stretched vertical position, in which head of pig is down: № 102008003865.2:

- заявл. 10.01.2008; опубл. 09.04.2009 / Toennies R.; заявитель и патентообладатель Toennies R. 12 с.: ил. Текст: непосредственный.
- 28. Machtolf, M. Stunning slaughter pigs using the inert gas helium / M. Machtolf [et al.] // 60th International Congress of Meat Science and Technology. Punta Del Este, Uruguay, 17-22rd August 2014.
- 29. Патент DE201210100480 Германия, A22B3/00. Method and system for stunning animals to be slaughtered: № DE102012100480; заявл. 20.01.2012; опубл. 24.07.2013, Patentblatt 2013/30 / Weide H.; Schmidt F.; заявитель и патентообладатель Banss Schlacht & Foerdertech. 10 с.: с ил. Текст: непосредственный.
- 30. Патент MX2017015527A Мексика, A22B3/00; A61M16/10. Pre-stunning or stunning of animals with a combination of air (O₂), CO₂ and N₂O: № DKPA201500320; заявл. 02.06.2015; опубл. 30.04.2018 / Helle D.L.; Leif L.; Margit D.A.; Lars O.B.; Pia B.; заявитель и патентообладатель: Teknologisk Inst. 30 с.: с ил. Текст: непосредственный.
- 31. Патент WO2018211231A1 Великобритания, A22B3/00. System and method for stunning animals: № PCT/GB2018/000082; заявл. 16.05.2018; опубл. 22.11.2018 / Hurford E.B.; заявитель и патентообладатель Gallus Solutions LTD. URL: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf? docId=WO2018211231 (дата обращения: 02.06.2022).
- 32. Патент GB2564725A Великобритания, A22B3/00; A22B3/08. System and method for stunning animals: № 1718498.3; заявл. 08.11.2017; опубл. 23.01.2019/ Hurford E.B.; заявитель и патентообладатель Gallus Solutions LTD.
- 33. Патент CA2986546A1 Канада, A22B3/04. Method for humanely stunning and slaughtering animals using low atmospheric pressure and inert gas: №US2015/044287; заявл. 07.08.2015; опубл. 11.02.2016 / Cheek H.; Cattaruzzi патентообладатель и Cheek Cattaruzzi B.: заявитель H.: В. URL: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId= WO2016022959 (дата обращения: 02.06.2022).
- 34. Семенова А.А. Практика применения газов для обездвиживания свиней / А.А. Семенова, Т.М. Миттельштейн, А.И. Синичкина // Все о мясе. -2016. N_2 6. С. 50-52.
- 35. Lechner, I. Discomfort period of fattening pigs and sows stunned with CO₂: Duration and potential influencing factors in a commercial setting / I. Lechner, A. Léger, A. Zimmermann, S. Atkinson [et al.] // Meat Science. 2021. Vol. 179. 108535. ISSN 0309-1740.

- 36. Jongman, E.C. Pre-slaughter factors linked to variation in responses to carbon dioxide gas stunning in pig abattoirs / E.C. Jongman, R. Woodhouse, M. Rice, J.-L. Rault // Animal. 2021. Vol. 15, Issue 2. 100134. ISSN 1751-7311.
- 37. Van der Wal, P.G. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality / P.G. van der Wal, B. Engel, H.G.M. Reimert // Meat Science. 1999. Vol. 53, Issue 2. P. 101-106. ISSN 0309-1740.
- 38. Chai, J. Effect of pre-slaughter transport plant on blood constituents and meat quality in halothane genotype of NN Large White×Landrace pigs / J. Chai [et al.] // Livestock Science. Vol. 127, Issues 2-3. 2010. P. 211-217.
- 39. Edwards, L.N. Evaluation and application of humane hypoxia euthanasia for nursery pigs / L.N. Edwards, T.E. Engle // University of Minnesota Institutional Partners. 2011. P. 235-241.
- 40. Schaeperkoetter M. Impacts of group stunning on the behavioral and physiological parameters of pigs and sheep in a small abattoir / M. Schaeperkoetter, Z. Weller, D. Kness, C. Okkema [et al.] // Meat Science. 2021. Vol. 179. 108538. ISSN 0309-1740.
- 41. Brüggemann, D. Tierschutr vom stall dis zur schlachtung und auswirkungen auf die fleischgualität / D. Brüggemann // Fleschwirtchaft. 2014. Vol. 94, No 6. P. 84.
- 42. Ramantanis, S.B. Transport as most controversial area / S.B. Ramantanis // Fleschwirtchaft International. 2005. No 2. P. 24-28.
- 43. Schwarzlose, I. Behandlung und transport von leben dvieh zwischen erzeugerbetrieb und schlachthof / I. Schwarzlose // Fleschwirtchaft. 2014. Vol. 94, No 6. P. 84.
- 44. Holleben, R. Rendersdi lachtung: Anlieferung, aufstallung, zutreb, fixicrung antorderungen und erfanrungen / R. Holleben // Fleschwirtchaft. 2014. Vol. 94, No 6. P. 86.
- 45. Kephart, K.B. Observations of market pigs following transport to a packing plant / K.B. Kephart, M.T. Harper, C.R. Raines // Journal of Animal Science. 2010 Vol. 88, Issue 6. P. 2199–2203.
- 46. Xing, T. Stress Effects on Meat Quality: A Mechanistic Perspective / T. Xing, F. Gao, R.K. Tume, G.Zhou [et al.] //Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. 18 (2). P. 380-401. DOI: 10.1111/1541-4337.12417.
- 47. Goumon, S. Effects of transport duration on maintenance behavior, heart rate and gastrointestinal tract temperature of market-weight pigs in 2 seasons/ S. Goumon [et al.]/ Journal of Animal Science. 2013. Vol. 91, Issue 10. P. 4925–4935.
- 48. Barton-Gade, P. Effect of different stocking densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs / P. Barton-Gade // Meat Science. 1998. Vol. 48, Issues 3–4. P. 237-247.

- 49. Averos, X. Serum stress parameters in pigs transported to slaughter under commercial conditions in different seasons / X. Averos [et al.] // Veterinaria Medicina. 2007. 52(8). P. 333-342.
- 50. Grandin, T. Factors which impede animal movement in slaughter plants / J Amer Vet Med Assoc. 1996. Vol. 209. P. 757-759.
- 51. Brown, S.N. Meat quality in pigs subjected to minimal pre-slaughter stress / S.N. Brown [et al.] // Meat Science. Vol. 49, Issue 3. 1998. P. 257-265.
- 52. Atkinson, S. Assessing pig welfare at stunning in Swedish commercial abattoirs using CO₂ group-stun methods / S. Atkinson, A. Velarde, P. Llonch, B. Algers // Animal Welfare. 2012. 21(4). P. 487–495.
- 53. Velarde, A. Animal welfare towards sustainability in pork meat production / A. Velarde, E. Fàbrega, I. Blanco-Penedo, A. Dalmau // Meat Science. 2015. Vol. 109. P. 13-17. ISSN 0309-1740.
- 54. Llonch, P. Assessment of unconsciousness in pigs during exposure to nitrogen and carbon dioxide mixtures / P. Llonch, P. Rodríguez, M. Jospin, X. Manteca [et al.] // Animal. 2013. 7(3). P. 492–498.
- 55. Atkinson, S. Animal welfare and meat quality assessment in gas stunning during commercial slaughter of pigs using hypercapnic-hypoxia (20% CO₂ 2% O₂) compared to acute hypercapnia (90% CO₂ in air) Atkinson, S., Algers, B., Pallisera, J., Velarde, A., Llonch, P. // Animals. 2020. 10(12). P. 1–16.
- 56. Vermeulen, L. Sound levels above 85dB pre-slaughter influence pork quality / L. Vermeulen, V. Van de Perre, L. Permentier, S. De Bie [et al.] // Meat Science. 2015. Vol. 100. P. 269-274. ISSN 0309-1740.
- 57. Mota-Rojas, D. Effects of long distance transportation and CO₂ stunning on critical blood values in pigs / D. Mota-Rojas, M. Becerril-Herrera, P. Roldan-Santiago, M. Alonso-Spilsbury [et al.] // Meat Science. 2012. Vol. 90, Issue 4. P. 893–898.
- 58. Mota-Rojas, D. Effects of additional space during transport on pre-slaughter traits of pigs/ Mota-Rojas [et al.] // Journal of Biological Sciences. 2007. Vol. 7. P. 1112-1120.
- 59. Becerril-Herrera, M. Changes in blood constituents of swine transported for 8 or 16 h to an Abattoir / M. Becerril-Herrera, M. Alonso-Spilsbury, M.E. Trujillo Ortega, I. Guerrero-Legarreta [et al.] // Meat Sciences. 2010. 86(4). P. 945-948. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.07.021.
- 60. Düpjan, S. Differential vocal responses to physical and mental stressors in domestic pigs (Sus scrofa) / S. Düpjan, P.C. Schön, B. Puppe, A. Tuchscherer [et al.] // Applied Animal Behaviour Science. 2008. Vol. 114. P. 105-115.
- 61. Manteca, X. Neurophysiology and assessment of welfare / X. Manteca // Meat Science. 1998. Vol. 49, 1. P. 205-218.

- 62. Ritter, M. J. Effects of multiple concurrent stressors on rectal temperature, blood acid-base status, and longissimus muscle glycolytic potential in market-weight pigs / M.J. Ritter, M. Ellis, D. B. Anderson, S. E. Curtis [et al.] // Anim Sci. 2009. 87(1). P. 351-62.
- 63. Velarde, A. Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of hemorrhages in pigs / A. Velarde, M. Gispert, L. Faucitano, P. Alonso [et al.] // Meat Science. 2001. Vol. 58, Issue 3. P. 313–319.
- 64. Channon, H.A. Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality / H.A. Channon, A.M. Payne, R.D. Warner // Meat Science. 2002. Vol. 60, Issue 1. P. 63–68.
- 65. Acevedo-Giraldo, J.D. Effectiveness of two methods for stunning pigs: Electrical stunning head-heart and CO₂ stuninng | [Efectividad de Dos Métodos de Aturdimiento de Cerdos: Electronarcosis de Tres Puntos y Narcosis con CO₂] / J.D. Acevedo-Giraldo, M.H. Romero, J.A. Sánchez // Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru. 2016. DOI:10.15381/RIVEP.V27I3.12001.
- 66. Becerril-Herrera, M. CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning / M. Becerril-Herrera, M. Alonso-Spilsbury, C. Lemus-Flores, I. Guerrero-Legarreta [et al.] // Meat Science. 2009. Vol. 81, Issue 1. P. 233-237. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.07.025.
- 67. Dalmau, A. Application of the Welfare Quality® protocol in pig slaughterhouses of five countries / A. Dalmau, A. Nande, M. Vieira-Pinto, S. Zamprogna [et al.] // Livestock Science. 2016. Vol. 193. P. 78-87. DOI:10.1016/j.livsci.2016.10.001.
- 68. Velarde, A. Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: Effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype / A. Velarde [et al.] // Animal welfare. 2007. Vol. 16. P. 513-522.
- 69. Channon, H.A. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality / H.A. Channon, A.M. Payne, R.D. Warner // Meat Sci. 2000. Vol. 56(3). P. 291-299. DOI:10.1016/s0309-1740(00)00056-5.
- 70. Fàbrega, E. A. Comparison of halothane homozygous negative and positive pietrain sire lines in relation to carcass and meat quality, and welfare traits / E. Fàbrega, X. Manteca, J. Font, M. Gispert [et al.] // Meat Sci. 2004. Vol. 66(4). P. 777-787. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00128-1.
- 71. Van de Perre, V. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork / V. Van de Perre [et al.] //Meat Science. 2010. Vol. 48. P. 931-937.

- 72. Семенова, А.А. Влияние способа обездвиживания на качество свинины / А.А. Семенова, Т.М. Миттельштейн, А.И. Синичкина // Все о мясе. 2017. № 3. С. 3-4.
- 73. Channon, H.A. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂ / H.A. Channon, A.M. Payne, R.D. Warner // Meat Science. 2003. Vol. 65, Issue 4. P. 1325–1333.
- 74. Forslid, A. Acidosis, hypoxia and stress hormone release in response to one-minute inhalation of 80% CO₂ in swine / A. Forslid, O. Augustinsson // Acta Physiologica Scandinavica. 1988. Vol. 132. P. 223-231.
- 75. Marcon, A.V. Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter / A.V. Marcon [et al.] // Meat Science. 2019. Vol. 156. P. 93-97. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.04.022.
- 76. Hambrecht, E. Effect of processing plant on pork quality / E. Hambrecht, J.J. Eissen, M.W.A. Verstegen // Meat Science. 2003. Vol. 64, Issue 2. P. 125-131. DOI:10.1016/S0309-1740(02)00166-3.
- 77. Hambrecht, E. Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants/ E. Hambrecht, J.J. Eissen, B.J. Ducro, C.H. Smits [et al.] // J Anim Sci. 2004. Vol. 82(5). P. 1401-1409. DOI:10.2527/2004.8251401x.
- 78. Fischer, K.J. Drip loss in pork: influencing factors and relation to further meat quality traits / K.J. Fischer // Anim Breed Genet. 2007. Vol. 124. P. 12-18. DOI:10.1111/j.1439-0388.2007.00682.x.
- 79. Nowak, B. Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality / B. Nowak, T.V. Mueffling, J. Hartung // Meat Science. 2007. Vol. 75, Issue 2. P. 290-298. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.07.014.
- 80. Bolaños-López, D. Recovery of consciousness in hogs stunned with CO₂: Physiological responses / D. Bolaños-López [et al.] // Meat Science. 2014. Vol. 98, Issue 2. P. 193-197. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.05.034.
- 81. Raj, A.B.M. Stunning | CO₂ and other gases / A.B.M. Raj // Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition) / M. Dikeman, C. Devine. Academic Press, 2014. P. 401-406. ISBN 9780123847348. DOI: 10.1016/B978-0-12-384731-7.00155-0.
- 82. Llonch, P. Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality / P. Llonch [et al.] // Animal. 2012. Vol. 6, Issue 4. P. 668–675. DOI: 10.1017/S1751731111001911.
- 83. Fries, R. Blood parameters and corneal-reflex of finishing pigs with and without lung affections observed post mortem in two abattoirs stunning with CO₂ /

- R. Fries [et al.] // Research in Veterinary Science. 2013. Vol. 94, Issue 1. P. 186-190. DOI:10.1016/j.rvsc.2012.07.022.
- 84. Antic, D. Beef abattoir interventions in a risk-based meat safety assurance system / D. Antic, K. Houf, E. Michalopoulou, B. Blagojevic // Meat Science. 2021. Vol. 182. 108622. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021. 108622.
- 85. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. официальное. Москва: Стандартинформ, 2021.
- 86. ГОСТ Р МЭК 31010-2021 Надежность в технике. Методы оценки риска: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. официальное. Москва: Стандартинформ, 2021.
- 87. Cegar, S. Risk categorisation of poultry abattoirs on the basis of the current process hygiene criteria and indicator microorganisms / S. Cegar, L. Kuruca, B. Vidovic, D. Antic [et al.] // Food Control. 2022. Vol. 132. 108530. DOI:10.1016/j.foodcont.2021.108530.
- 88. Antic, D. Beef abattoir interventions in a risk-based meat safety assurance system / D. Antic, K. Houf, E. Michalopoulou, B. Blagojevic // Meat Science. 2021. Vol. 182. 108622. DOI:10.1016/j.meatsci.2021.108622.
- 89. Матисон, В.А. Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности и качества продуктов питания / В.А. Матисон, Н.И. Арутюнова // Пищевая промышленность. 2016. №5. С. 16-20.
- 90. Pointon, A. A risk profile of the Australian red meat industry: Approach and management / A. Pointon, I. Jenson, D. Jordan, P. Vanderlinde [et al.] // Food Control. 2006. Vol. 17, Issue 9. P. 712-718.
- 91. Кузнецова, О.А. Применение анализа рисков для оценки безопасности продукции животного происхождения / О. А. Кузнецова // Все о мясе. 2016. № 3. С. 4-7.
- 92. Спиридонова, А.А. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выбора методов управления рисками / А.А. Спиридонова, Е.А. Хомутова // Организатор производства. 2017. № 2. С. 92-100.
- 93. Lisitsyn, A.B. Treatment and preventive effect of meat obtained from pigs recovered after acute blood supply disturbance / A.B. Lisitsyn, I.M. Chernukha, L.V. Fedulova, A.N. Makarenko // American Journal of food and nutricion. Vol. 3 (2). 2013. C. 39-52.
- 94. Чернуха, И.М. Изучение влияния воды с модифицированным изотопным (D/H) составом на репродуктивную функцию, формирование и развитие

- потомства крыс / И.М. Чернуха, Л.В. Федулова, Е.А. Котенкова, Е.Р. Василевская, А.Б. Лисицын. // Вопросы питания. Т. 85, № 5. 2016. С. 36-43.
- 95. Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации // Ассоциация организаций по клиническим исследованиям [сайт]. 2008. URL: http://acto-russia.org (Дата обращения: 02.06.2022).
- 96. Западнюк, И.П. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте / И.П. Западнюк, В.И. Западнюк, Е.А. Захария, Б.В. Западнюк / 3-е изд. перераб. и доп. Киев: Вища школа, 1983.
- 97. Изучить влияние физиологического состояния свиней до начала обескровливания на качество свинины в полутушах и разработать систему критериев для оценки выбора параметров газового оглушения [Текст]: отчет о НИР (окончат.) / Фед. науч. центр пищевых систем им. В.М. Горбатова; рук. Семенова А.А.; исполн.: Козырев И.В. [и др.]. М., 2018. 79 с. № FNEN-2019-0005.
- 98. Методика комплексной оценки мясной продуктивности и качества мяса свиней разных генотипов. ВНИИМП, 2000. 42 с.
- 99. Кузнецова О.А. Теоретические и практические аспекты анализа и прогнозирования рисков в технологии мяса и мясной продукции: дис. докт. техн. наук: 05.18.04, 05.02.23 / Кузнецова Оксана Александровна; ВНИИМП. Москва, 2016. 280 с.
- 100. 2000 Report of the AVMA Panel on Euthanasia: American Veterinary Medical Association. // J Am Vet Med Assoc. 2001. 218 (5). C. 669–696.
- 101. Ананьев В.Н. Влияние инертных газов аргона и криптона на поглощение кислорода в замкнутом пространстве у крыс / В.Н. Ананьев. // Фундаментальные исследования. N 1. 2012. С. 11-13.
- Burkholder, T.H. Comparison of carbon dioxide and argon euthanasia: effects on behavior, heart rate, and respiratory lesions in rats. / T.H. Burkholder, L. Niel, J.L. Weed, L.R. Brinster, J.D. Bacher, C.J. Foltz. // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS. Vol. 49(4). 2010. P. 448–453.
- 103. Sharp, J. Comparison of carbon dioxide, argon, and nitrogen for inducing unconsciousness or euthanasia of rats. / J. Sharp, T. Azar, D. Lawson. // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science: JAALAS. Vol. 45(2). 2006. P. 21-25.
- 104. Thomas, A.A. Combining nitrous oxide with carbon dioxide decreases the time to loss of consciousness during euthanasia in mice Refinement of Animal

- Welfare? / A.A. Thomas, P.A. Flecknell, H.D.R. Golledge. // PLOS ONE. 2012. Vol. 7(3): e32290. DOI:10.1371/journal.pone.0032290.
- 105. ГОСТ 9792-73 Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины, говядины и мяса других видов убойных животных и птиц. Правила приемки и методы отбора проб: межгосударственный стандарт: дата введения 1974-07-01 / Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР. Изд. официальное. Москва: Стандартинформ, 1974.
- 106. Hill, A. Quantitative Microbiological Risk Assessment on Salmonella in Slaughter and Breeder pigs: Final Report / A. Hill, R. Simons, V. Ramnial, J. Tennant [et al.] // EFSA Supporting Publications. 2010. Vol. 7, No. 4. P. 46E.
- 107. Arguello, H. Role of slaughtering in salmonella spreading and control in pork production / H. Arguello, A. Álvarez-Ordoñez, A. Carvajal, P. Rubi [et al.] // Journal of Food Protection. 2013. Vol. 76, No. 5. P. 899–911.
- 108. Kloos, W.E. Delimiting the genus Staphylococcus through description of Macrococcus caseolyticus gen. nov., comb. nov. and Macrococcus equipercicus sp. nov., and Macrococcus bovicus sp. nov, and Macrococcus carouselicus sp. nov. / W.E. Kloos, D.N. Ballard, C.G. George, J.A. Webster [et al.] // Int. J. Syst. Bacteriol. 1998. Vol. 48, No. 3. P. 859-77. DOI: 10.1099/00207713-48-3-859.
- Morin, A. Pantoea / A. Morin, Z. Parveen // Encyclopedia of Food Microbiology /
 R.K. Robinson. Elsevier, 1999. P. 1623-1630. ISBN 9780122270703. –
 DOI:10.1006/rwfm.1999.1220.
- 110. Sampaio, J.P. Rhodotorula // The Yeasts (Fifth Edition) / C.P. Kurtzman [et al.]. Elsevier, 2011. P. 1873-1927. ISBN 9780444521491. DOI:10.1016/B978-0-444-52149-1.00155-5.
- 111. Cooney, S. Bacteria: Other Pathogenic Enterobacteriaceae / S. Cooney, S. O'Brien, C. Iversen [et al.]. // Encyclopedia of Food Safety. Enterobacter and Other Genera / Y. Motarjemi. Academic Press, 2014. P. 433-441. ISBN 9780123786135. DOI:10.1016/B978-0-12-378612-8.00104-9.
- 112. Атлас по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии / Под ред. А. А. Воробьева, А. С. Быкова. М.: Медицинское информационное агентство, 2003. С. 35. ISBN 5-89481-136-8
- Wu, Min. Klebsiella pneumoniae and Pseudomonas aeruginosa / M. Wu, X. Li // Molecular Medical Microbiology (Second Edition) / Y.-W. Tang [et al.]. Academic Press, 2015. P. 1547-1564. ISBN 9780123971692. DOI:10.1016/B978-0-12-397169-2.00087-1.
- 114. Maraki, S. Myroides odoratimimus soft tissue infection in an immunocompetent child following a pig bite: case report and literature review / S. Maraki,

- E. Sarchianaki, S. Barbagadakis // The Brazilian Journal of Infectious Diseases. 2012. 16 (4). P. 390-392. DOI:10.1016/j.bjid.2012.06.004.
- 115. Drancourt, M. Phylogenetic analyses of Klebsiella species delineate Klebsiella and Raoultella gen. nov., with description of Raoultella ornithinolytica comb. nov., Raoultella terrigena comb. nov. and Raoultella planticola comb. nov / M. Drancourt, C. Bollet, A. Carta, P. Rousselier // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2001. 51 (Pt 3). P. 925–932. DOI:10.1099/00207713-51-3-925. PMID 11411716.
- 116. Vogt, R.L. Escherichia coli O157:H7 outbreak associated with consumption of ground beef / R.L. Vogt, L. Dippold // Public Health Rep: journal. 2005. Vol. 120, No. 2. P. 174-178.
- 117. Рысцова, Е.О. Кандидоз желудочно-кишечного тракта свиней / Е.О. Рысцова, Н.П. Сачивкина, Е.В. Куликов [и др.] // Известия ОГАУ. 2019. №3 (77). С. 214-216.
- 118. Gajana, C.S. Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative (PSE) and the physico-chemical characteristics of pork / C.S. Gajana [et al.] // Meat Science. 2013. Vol. 95 (3). P. 520-525. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.028.
- Warner, R.D. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits / R.D. Warner, R.G. Kauffman, M.L. Greaser // Meat Science. 1997. Vol. 45 (3). P. 339-352. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00116-7.
- 120. AnaClaudia, K. Effects of transportation period and waiting before slaughter on behavior meat quality of lamb / K. AnaClaudia [et al.] // 61th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, France. August 2015.
- 121. Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. М.: Медицина, 2000. 544 с. ISBN 5-225-04579-0.
- 122. Кислинская, Л.Г. Биохимические показатели сыворотки крови помесных свиней в возрасте 2 и 6 мес. / Л.Г. Кислинская, В.М. Мешков, А.П. Жуков // Известия ОГАУ. -2014. N 2. C. 92-94.
- 123. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: Справочник / Под. ред. И.П. Кондрахина. М.: КолосС, 2004. 520 с. ISBN 5–9532–0165–6.
- 124. Технологическая инструкция по разделке свинины на отрубы к Γ OCT 31778-2012. ВНИИМП, 2013. 59 с.

- 125. Козырев, И.В. Факторы, влияющие на качество свинины. Часть 1 / И.В. Козырев, Т.В. Мишугина, Т.М. Миттельштейн, А.И. Синичкина // Все о мясе. 2020. № 3. С. 48-54. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-3-20-26.
- 126. Козырев, И.В. Факторы, влияющие на качество свинины. Часть 2 / И.В. Козырев, Т.М. Миттельштейн, А.И. Синичкина // Все о мясе. 2020. № 4. С. 31-33. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-4-31-33.
- 127. Raj, A.B.M. Welfare implications of the gas stunning of pigs. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon / A.B.M. Raj, N.G. Gregory // Animal Welfare. 1995. Vol. 4. P. 273-280.
- 128. Llonch, P. Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs / P. Llonch, A. Dalmau, P. Rodriguez, X. Manteca [et al.] // Animal Welfare. 2012. Vol. 21. P. 33-39. DOI:10.7120/096272812799129475.
- 129. Dalmau, A. Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs / A. Dalmau [et al.] // Animal Welfare. 2010. Vol. 19. P. 325-333.
- 130. 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 // Все о мясе. 2017. № 6. С. 56-60.
- 131. Влияние режимов газового обездвиживания на изменение послеубойных условиях модельного эксперимента/ А.А. Семенова, характеристик В Л.В. Федулова, А.И. Синичкина, Т.М. Миттельштейн, И.В. Козырев // комплексной переработки Практические теоретические аспекты продовольственного сырья и создания конкурентоспособных продуктов питания – основа обеспечения импортозамещения и продовольственной России: сб. 19-й Международной безопасности Tp. конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова. – М.: ВНИИМП, 2016. – С. 379-381.
- 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.
- 133. Синичкина, А.И. Влияние параметров СО₂-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.
- 134. 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. Междунар. Конф. NT+M&Ec`2022 (Гурзуф, 29.05–08.06 2022 г.), 2022, весенняя сессия.
- 135. Kuznetsova, O.A. The study of the condition of carcass tissues and internal organs of pigs upon critical impact of CO₂—stunning / O.A. Kuznetsova, A.A. Semenova, T.G. Kuznetsova, A.I. Sinichkina // 64th International Congress of Meat Science and Technology. Melbourne, Australia, 2017.
- 136. 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.
- 137. Синичкина, А.И. Качество мяса от свиней разных пород при использовании обездвиживания А.И. Синичкина, Т.М. Миттельштейн, газового / И.В. Козырев пищевой Инновационно-технологическое развитие промышленности тенденции, стратегии, вызовы: сб. тр. 21-й Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.М. Горбатова. - М: ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» PAH, 2018. – C. 236-238.
- 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). − C. 39-44. − DOI: 10.21323/2414-438X-2020-5-2-39-44.
- 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.
- 140. Čobanović, N. Biochemical, carcass and meat quality alterations associated with different degree of lung lesions in slaughtered pigs / N. Čobanović [et al.] // Preventive Veterinary Medicine. Vol. 188. 2021. 105269.



награждается Синичкина Алена Игоревна

Лауреат конкурса на лучшую научно-исследовательскую работу в рамках

XI международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН

«Пищевые системы: теория, методология, практика»

Член Президиума РАН, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН д.т.н., профессор, академик РАН

Я В.Ф.Лачуга

ВНИХИ - филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН 1 ноября 2017г. Москва

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ им. В.М. Горбатова» РАН

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем

Федеральним. В.М. Горбатова» РАН

обелен А.А. Семенова

2021 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по совершенствованию условий транспортирования и предубойной подготовки свиней MP 10-00419779-11

(вводятся впервые)

Дата введения в действие «01 » $_{2000}$ » $_{2000}$ г.

РАЗРАБОТАНО

Руководитель отдела научно-прикладных и технологических разработок

Эвасар В.В. Насонова

Младший научный сотрудник

А.И. Синичкина

Москва 2021



AO «Йошкар-Олинский мясокомбинат». yola-agro.ru

424006, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Кокшайский проезд, 44. Тел.: +7 (8362) 685-603. Факс: +7 (8362) 685-757. Р/счет № 40702810637180101101 в отделении Марий Эл № 8614 ПАО Сбербанк. К/счет № 30101810300000000630. БИК 048 860 630. ИНН 1215027621, КПП 121501001. ОГРН 1021 200 753 970. ОКВЭД 10.11 Переработка и консервирование мяса и мясной пищевой продукции.

АКТ о проведении контрольного убоя

Настоящий акт составлен о том, что 02.09.2021 года на предприятии АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» был проведен контрольный убой свиней в количестве 110 голов. Процессы предубойной подготовки и подгона были организованы в соответствии с рекомендациями специалистов ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Опытные животные были случайным образом разделены на две группы, которые подвергали обездвиживанию на установке Butina Backloader G3 Relax (Marel, Исландия) газовой смесью с углекислым газом с применением следующих режимов:

- содержание углекислого газа 88%, время экспозиции 130 секунд;
- содержание углекислого газа 88%, время экспозиции 150 секунд.

По результатам контрольного убоя 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.

Заместитель Генерального директора по производству АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат»

Главный ветеринарный врач AO «Йошкар-Олинский мясокомбинат»



Т.Г. Прохорова

О.М. Сидуганова

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ им. В.М. Горбатова» РАН

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБНУ «ФНЦ пищевых

систем им. В.М. Горбатова» РАН

О.А. Кузнецова

2022 r

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по управлению процессом газового обездвиживания свиней

по управлению процессом газового ооездвиживания свинеи на основе анализа рисков

MP 10-00419779-12

(вводятся впервые)

Дата введения в действие « /» _ спери 2022 г.

РАЗРАБОТАНО ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Зам. директора по научной работе

<u> Неееееио</u> А.А. Семенова

Младиий научный сотрудник

__ А.И. Синичкина

Москва 2022



AO «Йошкар-Олинский мясокомбинат». yola-agro.ru

424006, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Кокшайский проезд, 44. Тел.: +7 (8362) 685-603. Факс: +7 (8362) 685-757. Р/счет № 40702810637180101101 в отделении Марий Эл № 8614 ПАО Сбербанк. К/счет № 30101810300000000630. БИК 048 860 630. ИНН 1215027621, КПП 121501001. ОГРН 1021 200 753 970. ОКВЭД 10.11 Переработка и консервирование мяса и мясной пищевой продукции.

Директору ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН Кузнецовой О.А.

Настоящим письмом подтверждаю, что «Методические рекомендации по управлению рисками, связанными с газовым обездвиживанием свиней», разработанные ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, прошли апробацию в условиях предприятия АО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» и могут быть рекомендованы для использования в мясной промышленности.

Заместитель Генерального директора по производству

Т.Г. Прохорова

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН)

109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26 Телефон: 8 (495) 676-95-11; факс: 8 (495) 676-95-51 E-mail: info@fncps.ru

17062022 № 492/gup

Справка

Настоящая справка дана Синичкиной Алене Игоревне о том, что результаты ее диссертационной работы по теме «Разработка рискориентированного технологического подхода к обеспечению качества мяса и субпродуктов, получаемых при убое свиней с использованием газового обездвиживания» были успешно использованы при выполнении работ по хозяйственным договорам № 034.15.051, № 034.21.070 с предприятиями отрасли на общую сумму 1 720 тысяч рублей.

И.о. директора

А.Г. Белозеров

Исп.: Насонова В.В.