УДК 637.521.3

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МЯСНОЙ ОТРАСЛИ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ И ПРОДУКЦИИ

Assessment of equipment reliability at meat industry enterprises, quality control of raw materials and products

В. А. Меньшенин, магистрант
Э. Р. Полуяхтова, магистрант
Н. В. Тихонова, доктор технических наук, профессор

Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

Данная статья представляет собой анализ и исследование вопросов оценки надёжности оборудования предприятий мясной отрасли. Рассматриваются различные методы и инструменты для анализа эффективности работы оборудования, а также предлагают практические рекомендации для улучшения её оценки надёжности. Также в статье затронут вопрос безопасности продукции мясоперерабатывающих предприятий и мер, связанных с её контролем.

Ключевые слова: работоспособность, управление качеством, испытания оборудования, анализ, безопасность пищевых продуктов.

Summary

This article is an analysis and study of the issues of assessing the reliability of equipment of meat industry enterprises. Various methods and tools for analyzing the efficiency of equipment are considered, as well as practical recommendations for improving its reliability assessment. The article also touches upon the issue of the safety of products of meat processing enterprises and measures related to its control.

Keywords: operability, quality management, equipment testing, analysis, food safety.

Введение

Оценка надёжности оборудования на предприятиях мясной отрасли – это процесс определения способности оборудования выполнять свои функции в заданных условиях эксплуатации.

Надёжность оборудования является важным фактором для обеспечения безопасности, качества продукции и эффективности производства. Она включает в себя такие аспекты, как безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость.

Важность надёжности оборудования в мясной промышленности. Мясоперерабатывающие предприятия представляют собой сложные производства, для переработки сырья в готовую продукцию, которым требуется широкий спектр оборудования [1]. Надёжность этого оборудования имеет решающее значение по нескольким причинам:

Качество продукции. Поломка оборудования может привести к загрязнению или порче мясных продуктов, что может обернуться финансовыми потерями и ущербом репутации компании.

Безопасность пищевых продуктов. Неправильное обслуживание или неисправное оборудование могут создать условия, способствующие размножению бактерий и возникновению пищевых отравлений. Внедрение системы управления качеством продукции, а также контроль состояния сырьевой базы помогают соблюдению норм выпускаемого продукта.

Эффективность работы. Простой из-за поломки оборудования может нарушить производственные графики и привести к задержкам в доставке продукции клиентам.

Экономия средств. Регулярное техническое обслуживание и своевременная замена изношенных деталей могут помочь предотвратить дорогостоящие поломки и продлить срок службы оборудования.

Надёжность оборудования – один из ключевых факторов обеспечения эффективной и безопасной работы мясоперерабатывающих предприятий [2]. В этой статье мы обсудим важность надёжности в мясной промышленности и некоторые методы её обеспечения.

Цель: рассмотреть и проанализировать методы и инструменты обеспечения надёжности оборудования мясоперерабатывающей отрасли, а также разобрать вопросы безопасности продукции мясоперерабатывающих предприятий.

Материалы и методы анализа

Описание данной обзорной статьи включало поиск литературы, критерии включения и исключения, компоновка источников данных, раскрытие рассматриваемой темы, обобщение и представление результатов.

2.1. Способы определения поисковой литературы. Основной поисковый запрос был выбран по следующим ключевым словам «надёжность оборудования мясоперерабатывающей отрасли», «мониторинг оборудования», «Пищевая безопасность на мясоперерабатывающих предприятиях», «температурный контроль», и др.

2.2. Критерии включения и исключения. Чтобы сосредоточиться на самых последних исследованиях, для поиска был взят интервал в рамках последних 7 лет (2017–2024). Проводился дополнительный ручной поиск публикаций, на которые ссылались авторы наиболее информативных статей за последние 4 года. В исследование включались обзорные и экспериментальные статьи с описанием методологии, полученных результатов и обсуждения. Исключались публикации, которые не были связаны с мясоперерабатывающей отраслью.

2.3. Источники данных. В качестве источника информации использовали базы данных eLIBRARY.RU, PubMed, Science Direct, Library, Лань, и Google Scholar.

2.4. Определение субъектов исследования и используемый анализ В качестве субъектов исследования применяли аннотации, полнотекстовые статьи в журналах открытого и закрытого доступа. В результате поиска литературы было получено 6384 аннотаций и статей. В целом, 75 ссылок были признаны потенциально подходящими. После анализа 62 статей и аннотаций были исключены, а 13 были включены.

Методы и инструменты обеспечения надёжности

Для оценки надёжности оборудования используются различные методы и инструменты, включая:

Анализ статистических данных о работе оборудования. Это позволяет выявить тенденции и закономерности в работе оборудования, а также определить наиболее уязвимые места [3].

Проведение испытаний оборудования. Испытания могут проводиться как в лабораторных условиях, так и на реальном производстве. Они позволяют оценить работоспособность оборудования в различных режимах работы. Использование методов математического моделирования. Математические модели позволяют прогнозировать работу оборудования и определять его надёжность.

Применение экспертных оценок. Эксперты могут дать оценку надёжности оборудования на основе своего опыта и знаний. Оценка надёжности оборудования должна проводиться регулярно, чтобы своевременно выявлять и устранять проблемы, которые могут привести к сбоям в работе и снижению качества продукции.

Методы обеспечения надёжности

Вот ключевые аспекты, которые следует учитывать при оценке надёжности оборудования:

Регулярные технические осмотры способствуют повышению надежности производственного процесса, снижению эксплуатационных затрат и улучшению качества конечной продукции. Периодические проверки и диагностика оборудования позволяют выявлять потенциальные неисправности до их возникновения. Создание графика профилактического обслуживания — важный шаг в предотвращении простоев.

Виды осмотров:

Технические осмотры могут быть плановыми и внеплановыми.

- Плановые осмотры проводятся в установленные сроки в зависимости от интенсивности эксплуатации оборудования и его характеристик.
- Внеплановые осмотры проводятся при выявлении нештатных ситуаций или после отказов оборудования.

Этапы проведения осмотра

- Подготовительный этап: включает в себя сбор информации о техническом состоянии оборудования, изучение документации и инструкций.
- Осмотр оборудования: проводится визуальная проверка, проверка работы под нагрузкой и технические измерения.
- Выявление и анализ дефектов: дефекты классифицируют по степени важности и воздействию на производственный процесс.
- Документирование результатов: составляются акты и отчеты, фиксируются выявленные дефекты и рекомендации по их устранению.

Анализ исторических данных эксплуатации. Необходимо собирать и анализировать данные о прошлых сбоях и ремонтах оборудования. Это позволяет выявить слабые места и предвидеть возможные проблемы в будущем.

Первым шагом является сбор данных из различных источников. Это могут быть:

- Датчики на производственном оборудовании, которые предоставляют информацию о времени работы, температуре, давлении и других параметрах.
- Операционные журналы: записи об остановках, ремонтах и техническом обслуживании.
- Системы управления предприятием (ERP): данные о производительности, объемах производства и затратах.

Собранные данные нуждаются в обработке и анализе для выявления ключевых показателей эффективности (KPI). Использование современных технологий, таких как Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI), может значительно улучшить анализ данных. Эти технологии помогают в автоматизации сбора и обработки данных, а также в предоставлении более точных прогнозов и рекомендаций [4].

Использование современных методов диагностики: Применение технологий, таких как термография, ультразвуковая диагностика и виброанализ, помогает в своевременном обнаружении неисправностей без необходимости остановки работы оборудования. Вибродиагностика один из наиболее распространенных методов, который позволяет выявить механические не-

исправности на ранней стадии. С помощью специальных датчиков измеряются вибрации оборудования. Анализ этих данных позволяет обнаружить такие проблемы, как разбалансировка, износ подшипников или неправильная установка деталей. Тепловизионный контроль помогает выявлять аномалии в работе оборудования, такие как перегрев подшипников, электродвигателей или других компонентов. Это позволяет оперативно реагировать на потенциальные неисправности и проводить своевременное техническое обслуживание. Ультразвуковая диагностика эффективна для выявления утечек и трещин в трубах и контейнерах, а также для контроля состояния сварных швов. Используя ультразвук, можно точно локализовать проблему и принять меры до возникновения аварийной ситуации. Регулярный анализ масла позволяет оценить состояние механизмов, выявить загрязнения и износ. По результатам анализа можно планировать замену масла или ремонт оборудования, что способствует продлению его срока службы. Использование IoT-технологий активно внедряется в мясопереработке для мониторинга оборудования в реальном времени. Сенсоры собирают данные об условиях работы машин и передают их в аналитические системы. Это позволяет получать оперативную информацию о состоянии оборудования и быстро реагировать на любые изменения [5].

Обучение персонала: Квалифицированный персонал, знающий особенности эксплуатации и обслуживания оборудования, способен быстрее и эффективнее выявлять и устранять неполадки. Обучение должно охватывать не только эксплуатацию, но и базовое понимание неисправностей и их устранение.

Внедрение систем мониторинга: Автоматизированные системы мониторинга и управления (SCADA) позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние оборудования, предоставляя данные о его производительности и предупреждая о возможных сбоях. SCADA — это комплекс программных и аппаратных средств, предназначенный для контроля и управления технологическими процессами на производстве. Эти системы позволяют операторам не только следить за происходящими процессами в режиме реального времени, но и получать исторические данные для анализа и оптимизации производительности.

Основные компоненты SCADA

Человек-машинный интерфейс (HMI), который позволяет операторам взаимодействовать с машинами и получать информацию в понятном виде. Программируемые Логические контроллеры (PLC), выполняющие роль основного контроллера, обрабатывающего данные и управляющего процессом. Коммуникационная инфраструктура необходимая для передачи данных между различными элементами системы. Серверы и базы данных, используемые для хранения, обработки и анализа данных. Интеграция SCADA-систем в мясоперерабатывающие предприятия требует внимательного подхода и анализа всех производственных этапов. Важно правильно настроить систему под конкретные нужды производства, что потребует адаптации как аппаратных, так и программных компонентов. Внедрение SCADA сопряжено с рядом вызовов, таких как необходимость квалифицированного персонала для эксплуатации систем, а также затраты на их внедрение и обслуживание. Однако, учитывая долгосрочные преимущества, многие предприятия продолжают инвестировать в такие технологии. В будущем стоит ожидать дальнейшего развития SCADA-систем с использованием технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта, что дополнительно повысит их эффективность.

Работа с поставщиками оборудования: Важно выбирать надёжных производителей и поставщиков, предоставляющих полную информацию о продукции, включая её надежность и возможность обслуживания. Также стоит учитывать возможность приобретения запасных частей и получения технической поддержки.

Оценка риска и планирование: Регулярная оценка рисков, связанных с использованием оборудования, и разработка планов действий в случае его отказа помогают минимизировать потери и поддерживать производственный процесс.

4. Безопасность пищевых продуктов

Пищевая безопасность на мясоперерабатывающих предприятиях – это критически важный аспект, касающийся здоровья потребителей и репутации производителей. Эффективные меры обеспечения безопасности пищевых продуктов включают в себя строгий контроль на всех этапах производства – от поступления сырья до доставки готовой продукции [6].

Первый и самый важный шаг — это контроль качества сырья. Животных необходимо содержать в условиях, минимизирующих риск инфекционных заболеваний. Забой и первичная переработка также должны осуществляться под контролем ветеринарных специалистов. Только здоровое сырье может стать основой для безопасной продукции [7].

Следующим этапом является внедрение системы управления безопасностью пищевых продуктов, такой как HACCP (Анализ рисков и критические контрольные точки). Эта система помогает выявлять и предотвращать потенциальные угрозы на всех стадиях производства. Важно регулярно обновлять процедуры с учетом новых данных и технологий, а также проводить обучение персонала [8, 12].

Кроме того, важную роль играет санитарная обработка оборудования и помещений. Регулярные проверки и соблюдение санитарных норм помогают предотвратить перекрестное загрязнение и распространение патогенов. Регулярная мойка и дезинфекция всех рабочих поверхностей, машин и инструментов предотвращает накопление патогенных микроорганизмов и сохраняет качество продукции. Разработка графика регулярной дезинфекции помещений позволяет выдерживать санитарные нормы и сокращает риск перекрестного заражения продукции. Выбор дезинфицирующих средств без токсичных остаточных компонентов обеспечивает безопасность как для работников, так и для конечных потребителей продукции [9]. Регулярный инструктаж и обучение сотрудников правильным методам санитарной обработки укрепляет культуру безопасности на производстве. Постоянный контроль за уровнем чистоты, включая микробиологический мониторинг, позволяет своевременно выявлять и устранять возможные нарушения. Соблюдение данных принципов обеспечивает высокие стандарты качества и безопасности мяса и мясной продукции [10].

Контроль температуры на всех этапах производственного процесса также критичен. Правильное хранение и транспортировка продукции в соблюдении температурных режимов предотвращают размножение бактерий и других вредных микроорганизмов.

Контроль температуры на этапе приёмки сырья мясоперерабатывающих предприятий является критически важным процессом, который обеспечивает качество и безопасность продукции. Нарушение температурного режима на данном этапе может привести к порче сырья и, как следствие, к снижению качества готовой продукции или даже к её угрозе для здоровья потребителей.

Основные аспекты контроля температуры на этапе приёмки сырья

Каждая партия мясного сырья должна быть проверена на соответствие установленным температурным показателям. Мясо, поступающее на предприятие, должно находиться в определённом температурном диапазоне, который позволяет сохранить его свежесть и предотвратить размножение патогенных микроорганизмов. На этапе приёмки сотрудники должны использовать сертифицированные термометры или инфракрасные тепловизоры, которые позволяют получать точные показания температуры в разных частях продукта.

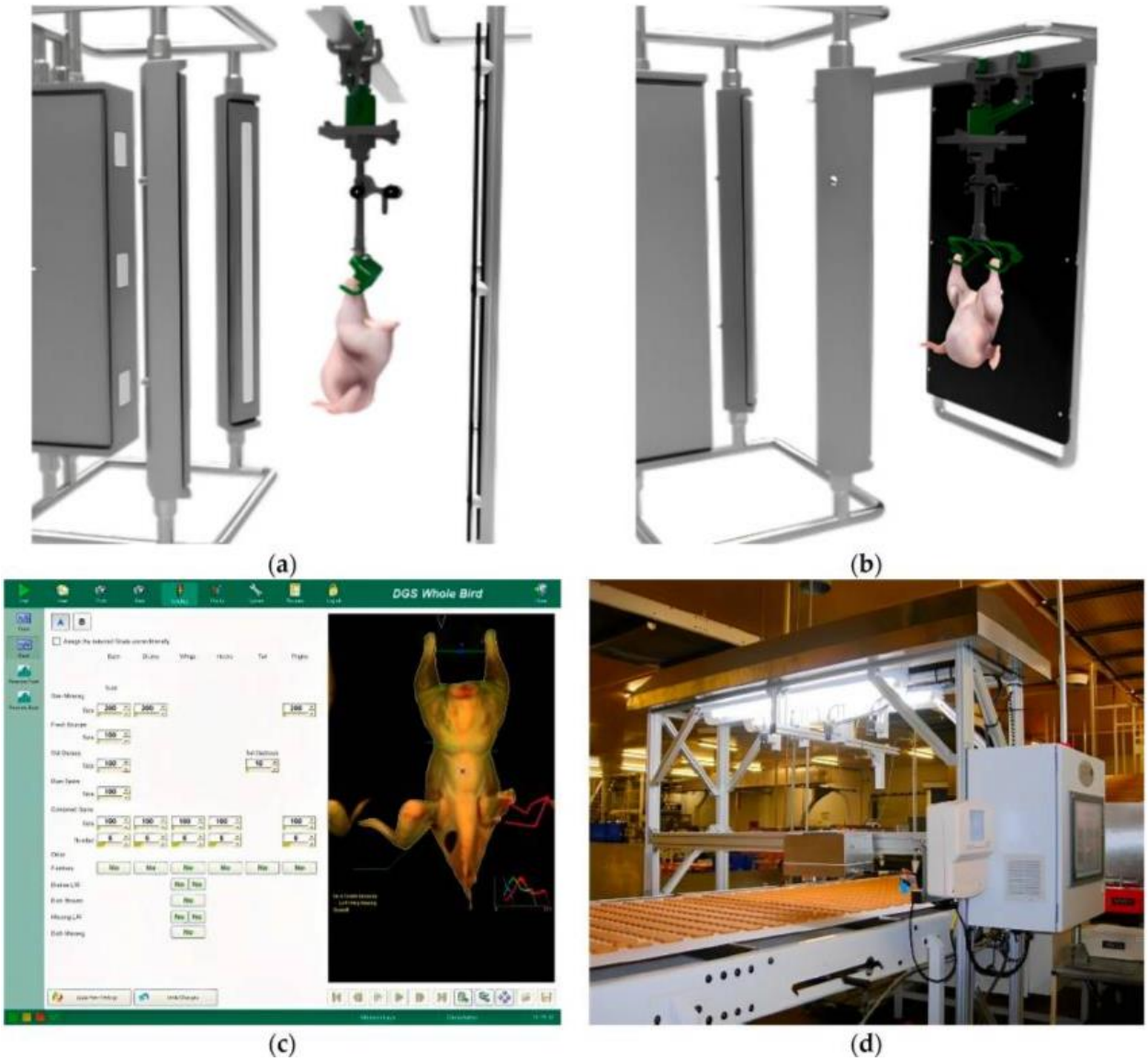

Рис. 1. Неразрушающий контроль системы машинного зрения:
(a, b) аппаратная часть системы машинного зрения для проверки цыплят;
(c) программная часть системы машинного зрения для проверки цыплят;
(d) система машинного зрения для разделки мяса [11]

Весь процесс контроля температуры должен быть детально задокументирован. Это включает в себя регистрацию температурных показателей каждой партии, а также действия, предпринятые в случае их несоответствия нормам. Чтобы гарантировать точность измерений, оборудование должно регулярно проверяться и калиброваться. Это помогает избежать ошибок, связанных с использованием неисправных или неточных приборов [11].

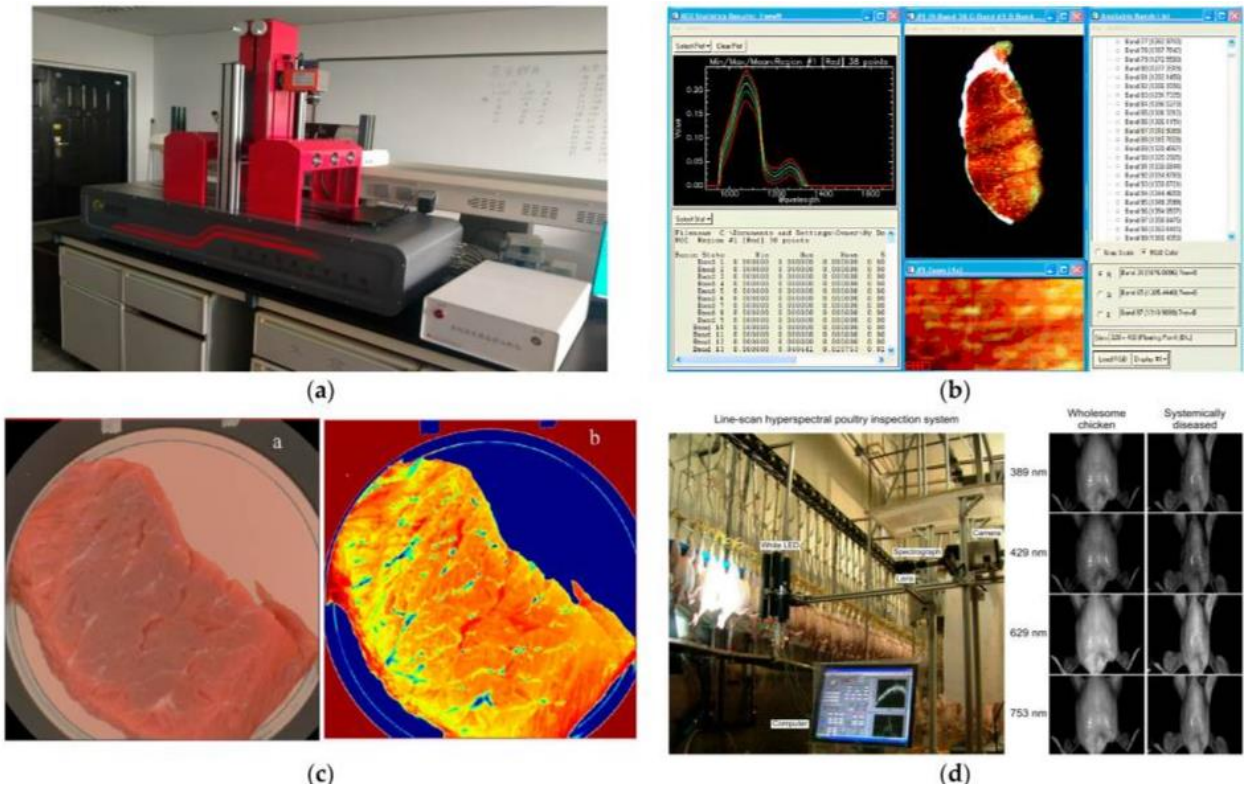

Рис. 2. Неразрушающий контроль с помощью гиперспектральной системы:
(a) оборудование и приборы гиперспектральных систем;
(b) программный интерфейс гиперспектральных систем;
(c) а. RGB-изображение и б. гиперспектральное изображение свинины;
(d) линейное сканирование для получения гиперспектральных изображений с отражением для онлайн-инспекции тушек птицы [11]

Цвет мяса является важным показателем его свежести и качества. Свежая говядина, например, часто бывает яркого красного цвета, что связано с присутствием миоглобина, белка, ответственного за транспортировку кислорода. Со временем цвет может темнеть из-за окисления, переходя в коричневатые или серые оттенки, что свидетельствует о начале процесса разложения. Свинина и курица свежие имеют розоватый оттенок, теряя яркость при длительном хранении. Исследование автоматической классификации по цвету в процессе созревания показало значительный потенциал для точной классификации после одной минуты на воздухе для большинства оттенков мяса. Это указывает на возможность надежной автоматической онлайн-сортировки свинины по цвету [13].

Запах мяса также играет существенную роль в определении его качества. Свежий продукт должен обладать легким, естественным и слегка сладковатым ароматом. Появление аммиачного, кислого или прогорклого запаха является явным признаком того, что мясо начало портиться под воздействием бактерий или неправильных условий хранения.

Пути улучшения процессов контроля

Современные технологии позволяют автоматизировать процессы контроля температуры, что снижает риск человеческой ошибки и повышает эффективность системы мониторинга.

Рис. 3. Сценарий применения технологии машинного зрения для определения качества мяса крупного рогатого скота и птицы:
(a) классификация качества свинины;
(b) определение качества тушек кур [11]

Описание действий, которые необходимо предпринять при обнаружении несоответствий, помогает оперативно реагировать на потенциально опасные ситуации. Использование цифровых платформ для хранения и анализа данных о температуре помогает в долгосрочном планировании и принятии решений на стратегическом уровне [11].

Ключевую роль играет компетентность сотрудников, осуществляющих контроль. Обучение персонала правильным методам измерения температуры и обработке результатов помогает минимизировать риск ошибок [12].

Вывод

На предприятиях мясной отрасли критически важно обеспечивать высокую надёжность оборудования, так как это напрямую влияет на эффективность производственных процессов и качество конечной продукции. Регулярная диагностика и техническое обслуживание позволяют минимизировать риски поломок и простоев. Кроме того, тщательный контроль качества сырья и готовой продукции является ключевым фактором в обеспечении безопасности и удовлетворенности потребителей. Для этого предприятия должны внедрять современные методы анализа и мониторинга, что способствует поддержанию высокого уровня качества и соответствия установленным стандартам.

Библиографический список

1. Развитие инженерии техники пищевых технологий: учебник / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, В. А. Панфилов, С. В. Шахов ; под ред. В. А. Панфилова. СПб.: Лань, 2022. 448 с.
2. *Зуев Н. А.* Технологическое оборудование мясной промышленности. Конструирование, расчет и постановка на производство / Н. А. Зуев, В. В. Пеленко. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2023. 64 с
3. *Исаев Х. М.* Технические системы для переработки продукции птицеводства. Краткий курс лекций: учебно-методическое пособие. Брянск: Брянский ГАУ, 2021.72 с.
4. *Попов Д. М.* Разработка системы мониторинга технологического оборудования мясоперерабатывающего предприятия / Д. М. Попов, С. Н. Кравченко, О. В. Санкина // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 156-160. DOI 10.32634/0869-8155-2023-374-9-156-160.

5. *Тахери-Гаравaнд А., Фатахи С., Омид М., Макино Ю.* Оценка качества мяса с помощью методов компьютерного зрения: обзор // Meat Sci. 2019 Oct. Vol. 156. P. 183-195. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.06.002. Epub 2019 Jun 5. PMID: 31202093. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030917401831180X?via%3Dihub.

6. *Требух С. С.* Мясопродуктовый подкомплекс: обеспечение продовольственной безопасности / С. С. Требух, В. Н. Курочкин // Активная честолюбивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. 2017. № 2. С. 48-53.

7. *Зимняков В. М.* Состояние и перспективы производства и переработки мяса индейки: монография. Пенза : ПГАУ, 2017. 184 с. ISBN 978-5-94338-868-2.

8. *Дима А., Раду Э., Добрин К.* Изучение основных препятствий для внедрения сертификации HACCP в мясной промышленности: подход к принятию решений на основе лабораторных испытаний и оценки // Foods. 2024. 24 апреля. № 13 (9). С. 1303. DOI: 10.3390/foods13091303. PMID: 38731674; PMCID: PMC11083321.

9. *Валишев А. А.* Методы и средства профилактической дезинфекции мясоперерабатывающих предприятий / А. А. Валишев, В. В. Кириллов // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: материалы VIII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 ноября 2017 года. СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. С. 240-243. EDN XRSOIH.

10. *Ашуро З., Зейссе Н., Айялев М.* Знания о гигиене мяса, методы работы с мясом и связанные с ними факторы среди работников мясокомбината в зоне Гедео, Эфиопия // Sci Rep. 2023 13 сентября. Vol. 13 (1). P. 15149. DOI: 10.1038/s41598-023-42225-8.

11. *Cakic S, Popovic T, Krco S, Nedic D, Babic D, Jovovic I.* Разработка периферийного компьютерного зрения на основе ИИ для интеллектуальных птицеводческих ферм с использованием глубокого обучения и высокопроизводительных вычислений // Sensors (Базель). 2023, 10 марта. № 23 (6). С. 3002. DOI: 10.3390/s23063002.

12. *Ким Й. Й., Парк С. Дж., Ким Дж. С., Шин Х. С.* Разработка индикатора свежести для контроля качества и свежести куриной грудки во время хранения // Food Sci. Biotechnol. 2022. № 31. P. 377-385. DOI: 10.1007/s10068-022-01034-x.17.

13. *Уттаро Б., Завадски С., Хуарес М.* Изучение взаимосвязи между классификацией цвета и стандартами цвета свинины в различных субъективных и объективных условиях // Meat Sci. 2025. Янв. № 219. С. 109661. DOI: 10.1016/j.meatsci.2024.109661.