

# Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация

О. В. Беспалова, А. Ю. Соколов, А. А. Гажур

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Ольга Владимировна Беспалова**  
E-mail: [Bespalova.OV@rea.ru](mailto:Bespalova.OV@rea.ru)

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Беспалова, О.В., Соколов, А.Ю., & Гажур, А.А. (2024). Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 80-104. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.613>

**ПОСТУПИЛА:** 13.06.2024

**ДОРАБОТАНА:** 05.12.2024

**ПРИНЯТА:** 16.12.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Увеличение объемов производства мяса в агропромышленном комплексе образует накопление отходов. Одной из причин является отсутствие доступных технологий рециклинга. Предлагаются технологические решения переработки мясокостных отходов, позволяющие получить сухой пищевой ингредиент и натуральный сухой корм для непродуктивных животных на производствах любой мощности.

**Цель:** Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях, обеспечивающих дополнительное извлечение мышечной мякоти и производство натуральных сухих ингредиентов для пищевых продуктов и кормов для непродуктивных животных.

**Материалы и методы:** Статистическим методом и сравнительным анализом оценивались объемы производства мяса и образование отходов. Методом наблюдения оценивался ассортимент мясных полуфабрикатов, сенсорным анализом определялось их качество и качество сухих кормов. Экспериментальный метод использовался для разработки технологий переработки мясокостных отходов. Реология сухих кормов определялась на «Структурометре-СТ2», масс-спектрометрией на приборе LCMS-8060 определялся аминокислотный состав. Световой микроскопией определяли наличие клетчатки в кормовых системах. Обработка данных проведена с использованием программных средств Microsoft.

**Результаты:** Анализ литературных данных показал прямую связь увеличения производства мяса и экологической устойчивости предприятий. Обозначена недостаточность технологий переработки отходов и отмечен перспективный сегмент рынка для их применения — производство кормов для непродуктивных животных. Маркетинговыми исследованиями показаны некоторые отклонения качества мясокостных полуфабрикатов, которые могут увеличивать потребительские отходы. Экспериментально обоснован состав рецептур и требуемые параметры технологии производства кормов. Разработана технология углубленной переработки мясокостных отходов с получением сухих мясных гранул и сухого корма для непродуктивных животных. Подтверждено соответствие показателей сухого корма нормативным требованиям.

**Выводы:** Разработана универсальная технология, обеспечивающая получение дополнительной мышечной мякоти из мясокостных остатков, гарантирующая обеззараживание сырья, позволяющая расширить границы производства кормов для животных и усилить переработку отходов. Получены новые продукты — мясные гранулы и сухой корм для животных. Способ дает предприятиям перспективу организации замкнутого цикла производства, получить добавленную стоимость. Исследование имеет ограничения применения, ввиду использования лабораторных условий проведения эксперимента и ограниченной выборки материалов, что может различать результаты в ходе их получения на промышленном производстве.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мясоперерабатывающее производство; мясокостные полуфабрикаты; переработка отходов; технологии сухого корма для непродуктивных животных

# The Development of Technological Solutions for In-Depth Processing of Meat and Bone Waste at Meat Processing Enterprises

Plekhanov Russian University  
of Economics, Moscow, Russian  
Federation

Olga V. Bespalova, Alexander Yu. Sokolov, Alexander A. Gazhur

## CORRESPONDENCE:

**Olga V. Bespalova,**

E-mail: Bespalova.OV@rea.ru

## FOR CITATIONS:

Bespalova, O.V., Sokolov, A.Yu., Gazhur, A.A. (2024). The development of technological solutions for in-depth processing of meat and bone waste at meat processing enterprises. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 84-104. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.613>

**RECEIVED:** 13.06.2024

**REVISED:** 05.12.2024

**ACCEPTED:** 16.12.2024

**PUBLISHED:** 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## FUNDING:

The study was funded by Plekhanov Russian University of Economics



## ABSTRACT

**Introduction:** The increase in meat production in the agro-industrial complex generates waste accumulation. This is partly due to the absence of accessible recycling technologies. Proposed technological solutions for processing meat and bone waste can generate a dry food ingredient and natural dry feed for non-productive animals at production facilities of any size.

**Purpose:** To develop technological solutions for the in-depth processing of meat and bone waste at meat processing plants, ensuring additional extraction of muscle pulp and the production of natural dry ingredients for food products and feed for non-productive animals.

**Materials and Methods:** The statistical method and comparative analysis were used to estimate the volumes of meat production and waste generation. The observation method was used to estimate the range of meat semi-finished products, and sensory analysis was used to determine their quality and the quality of dry feed. The experimental method was used to develop technologies for processing meat and bone waste. The rheology of dry feed was determined on the «Structurometer-ST2», and the amino acid composition was determined by mass spectrometry on the LCMS-8060 device. The presence of fiber in feed systems was determined by light microscopy. Data processing was carried out using Microsoft software.

**Results:** The analysis of literary data showed a direct connection between the increase in meat production and the environmental sustainability of enterprises. It highlighted a lack of effective waste processing technologies and identified a potential market niche for their use—specifically in the manufacturing of feed for non-productive animals. Additionally, market research indicated certain discrepancies in the quality of meat and bone semi-finished products, which could lead to increased waste among consumers. The composition of the recipes and the required parameters of the feed production technology are experimentally substantiated. A technology for in-depth processing of meat and bone waste with the production of dry meat granules and dry feed for unproductive animals has been developed. The compliance of dry feed indicators with regulatory requirements has been confirmed.

**Conclusion:** A universal technology has been developed that ensures the production of additional muscle pulp from meat and bone remains, guaranteeing the disinfection of raw materials, allowing to expand the boundaries of animal feed production and enhance waste recycling. New products, such as meat granules and dry animal feed, have emerged. The method gives enterprises the prospect of organizing a closed production cycle and obtaining added value. The study has limitations in application, due to the use of laboratory conditions for conducting the experiment and a limited sample of materials, which may differ in the results when they are obtained in industrial production.

## KEYWORDS

meat processing industry; meat and bone semi-finished products; waste recycling; dry feed technologies for non-productive animals

## ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные технологии переработки животного сырья переживают значительные изменения, обусловленные внедрением кавитационных и биотехнологий, методов биомодификации, СВЧ-нагрева, высокого давления, ультразвуковой обработки, а также автоматизации и цифровизации производственных процессов. Эти новшества способствуют созданию новых видов продукции, расширению ассортимента, улучшению качества, снижению энергопотребления и повышению экономической эффективности (Углов, 2020; Никитина и соавт., 2020; Ganeson, 2023; Shurson, 2020; Suychinov et al., 2024). Однако проблема ресурсосбережения и снижения отходов остается актуальной для предприятий мясоперерабатывающей отрасли, несмотря на достигнутый технологический прогресс. По данным исследований, доля отходов может достигать 40–60% от общего объема сырья, что указывает на недостаточную эффективность существующих технологий переработки и ограниченность инновационных решений (Кузлякина & Юрчак, 2017; Порфирьев, 2020; Рамазанов и соавт., Chowdhury et al., 2022; Karwowska et al., 2021; Kim et al., 2020; Sharma et al., 2021; 2024; Mohan & Long, 2021).

Проблема снижения отходов и повышения эффективности технологических процессов в мясопереработке имеет глобальный характер, усугубляемый ростом населения и увеличением объема особо токсичных отходов. Эти вызовы делают необходимым переход отрасли к экологически безопасным производственным моделям, что соответствует целям международной программы устойчивого развития (Петрунина & Горбунова, 2024; Kilibarda et al., 2023; Ungureanu et al., 2023; Shurson, 2020). основополагающим принципом данной программы является переход от линейной модели «производство — утилизация» к циклической системе, включающей регенерацию отходов и их повторное использование («производство — использование — регенерация — повторное использование») (Балякина и соавт., 2021; Горбунова & Петрунина, 2023; Кузлякина & Замула, 2020; Рамазанов и соавт., 2024; Ferronato et al., 2021; Martin-Rios et al., 2022).

Существующие технологии переработки отходов в мясоперерабатывающей отрасли зачастую явля-

ются высокочувствительными и не обеспечивают замкнутого цикла производства. Например, переработка отходов обычно ограничивается выпуском монопродуктов, таких как биотопливо, белковые добавки, желатин, или специализированных материалов, что требует кооперации с другими отраслями и редко доступно для малых предприятий (Крылова и соавт., 2023; Alibekov et al., 2024; Асланова и соавт., 2024; Ganeson et al., 2023; Zhou et al., 2024). Такой подход, хотя и приносит добавленную стоимость, не всегда согласуется с принципами комплексной переработки и экологической устойчивости (Рамазанов и соавт., 2024; Nouri et al., 2021; Shurson, 2020).

Научная литература также указывает на взаимосвязь между отходами мясоперерабатывающих предприятий и потребительскими отходами. Несовершенство упаковки и технологий производства приводит к росту объема отходов на потребительском этапе (Ganeson et al., 2023; Bilska et al., 2020; Martin-Rios et al., 2022). Эти недостатки подчеркивают необходимость разработки более рациональных технологий, которые могли бы не только снизить объем отходов, но и обеспечить производство востребованных продуктов.

Наиболее перспективным направлением переработки отходов мясопереработки является производство натуральных кормов для непродуктивных животных. Такие продукты пользуются устойчивым спросом, особенно в сегменте органических кормов (Баюров, 2021; Donadelli et al., 2019; Shields et al., 2023). Разработка технологий, ориентированных на малые и средние предприятия, которые могли бы использовать все промежуточные продукты переработки, становится особенно актуальной.

Целью настоящего исследования является создание предложений по углубленной переработке отходов мясоперерабатывающей отрасли для снижения их объема и производства дополнительной продукции, включая натуральные корма для непродуктивных животных. Исследование базируется на сочетании теоретических и эмпирических методов.

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### Актуальность использования отходов мясоперерабатывающих предприятий

Производство продукции животноводства составляет значительный вклад в глобальные выбросы парниковых газов, достигая 14,5% от общего объема, что существенно способствует климатическому кризису. При этом наиболее высокий вклад приходится на производство говядины (35,3%), молочного скота (30,1%) и свинины (8,7%) (Karwowska et al., 2021; Raihan, 2023). На мясоперерабатывающих предприятиях фактический выход мяса не превышает 40–50% от убойного веса, а оставшиеся 50–60% образуют отходы. По данным исследований, потери, связанные с неэффективным использованием отходов в мясной промышленности, могут достигать 30–40% (Кузлякина & Юрчак, 2017; Kim et al., 2020; Sharma et al., 2021; Chowdhury et al., 2022), а дополнительно 64% отходов формируются на этапе потребления (Karwowska, 2021).

Ежегодно в мире образуется около 18 млн тонн отходов мясной промышленности, из которых 10 млн тонн приходится на Европу (Кузлякина & Юрчак, 2017; Ungureanu et al., 2023). В России объем низкоценных побочных продуктов переработки сельскохозяйственного сырья, включая мясные отходы, достигает 50 млн тонн, большая часть которых не находит вторичного использования, что приводит к серьезным социально-экологическим и экономическим проблемам (Ибрагимов, 2019; Порфирьев, 2020; Тюрин и соавт., 2023).

Рост числа научных публикаций по вопросам утилизации и переработки отходов мясоперерабатывающих предприятий, а также проблемам ресурсосбережения свидетельствует о высокой актуальности данной темы (Monastirskii et al., 2022; Mohan & Long, 2021). Так, в области восстановления и повторного использования отходов опубликовано 177 исследований, в которых описано 25 технологий переработки. Эти исследования находятся в русле реализации программ устойчивого развития экономики, направленных на внедрение замкнутых производственных циклов (Monastirskii et al., 2022; Rosemarin et al., 2020; Suychinov et al., 2024).

Несмотря на успехи, достигнутые в разработке и применении технологий переработки отходов,

проблема остается во многом нерешенной. Основными препятствиями являются отсутствие в ряде стран эффективной системы управления отходами, доступных технологий переработки, устаревшее оборудование, кадровые проблемы, неэффективная управленческая политика и ограниченные возможности кредитования (Горбунова и соавт., 2023; Кузлякина & Замула, 2020; Mohan & Long, 2021). Данные обстоятельства подчеркивают, что проблема сокращения отходов и их переработки является одной из ключевых для экономики современных производств. В условиях недостаточного уровня экологической безопасности предприятий требуется разработка специализированных технологий, ориентированных на решение задач утилизации типичных видов отходов, характерных для большинства предприятий мясоперерабатывающей отрасли.

### Современная практика переработки и утилизации отходов в мясной отрасли

Современные подходы к переработке отходов мясоперерабатывающих предприятий ориентированы на улучшение экологических показателей путем интенсификации процессов конверсии. Эти подходы включают производство биотоплива, биоэнергии, удобрений, белковых препаратов, продукции для фармацевтической и медицинской сфер, а также кормов и их ингредиентов (Арсланова и соавт., 2019; Ferronato et al., 2021; Shurson, 2020; Monastirskii et al., 2022). Одним из примеров является использование химического растворения в серной (96%) и ортофосфорной (85%) кислотах для извлечения азота с последующим производством удобрений (Izydorczyk et al., 2022).

Перспективными направлениями переработки считаются использование отходов, таких как кровь, шкуры, кости, мясные обрезки, жировая ткань, рога, копыта и внутренние органы, в качестве источников белков, минералов, жиров и биоактивных пептидов (Alibekov et al., 2024). Например, кровь подвергается распылительной сушке для получения кровяной муки, которая применяется в кормах для птиц как источник аминокислот, а также в качестве натурального красителя и эмульгатора. Коровья кожа, благодаря физико-химической обработке, трансформируется в гидролизат желатина, богатого пептидами, который используется в кормлении цыплят-бройлеров (Nouri et al., 2020).



Биоактивные пептиды, выделяемые из мясных отходов, находят применение в профилактике метаболических заболеваний человека и используются в фармацевтической и медицинской отраслях. Например, из костных остатков получают остеопластический материал для восстановления опорно-двигательного аппарата, стоматологические гели и керамику (Seredin et al., 2022; Kowalski et al., 2021). Технологии лиофильной сушки позволяют сохранить активные пептиды и жирные кислоты омега-3 и омега-6 на уровне свежего сырья (Juknienė et al., 2022).

Однако высокая стоимость внедрения этих технологий ограничивает их доступность для большинства мясоперерабатывающих предприятий, особенно малого и среднего бизнеса. Примером доступного подхода является использование ферментации коллагенсодержащего сырья с применением культур *Lactobacillus bulgaricus*, *Bifidobacterium siccum* и *Staphylococcus carnosus* для производства колбасных изделий, что способствует переработке вторичного сырья (Gizatova et al., 2021). Тем не менее, работа с микробиологическими культурами требует биотехнологической специализации, что усложняет внедрение подобных решений в традиционные мясоперерабатывающие производства.

В Российской Федерации переработка отходов ограничивается производством клея, желатина, костей для поделок, кожевенного сырья, мясокостной муки, костного жира, биотоплива и ветеринарных препаратов (Крылова и соавт., 2023; Конурбаева и соавт., 2019; Балякина и соавт., 2021; Соколов, 2023). Однако существующих мощностей недостаточно для утилизации растущего объема отходов. Например, переработка мясных отходов во влажные корма для собак, включающая использование сердца, почек, легких и других субпродуктов, ограничивается качеством сырья и универсальностью обработки, не учитывающей специфику каждого компонента (Казаков, 2012).

Обзор литературы выявил, что реализованные проекты переработки отходов часто базируются на междисциплинарных подходах, требующих знаний вне сферы пищевых технологий. Это затрудняет их принятие управленческим звеном мясоперерабатывающих предприятий и снижает их привлекательность. В связи с этим возникла необходимость разработки решений, соответствующих специали-

зации пищевых производств, с использованием существующих технических возможностей. Наиболее перспективным направлением представляется переработка отходов для производства кормов для непродуктивных животных, таких как собаки и кошки. В условиях растущего спроса на кормовую продукцию и тенденции к импортозамещению, доля отечественного производства кормов для домашних животных в России в 2023 году составила 69%. Однако значительная часть рынка остается незаполненной, что делает это направление особенно актуальным.

### Обзор технологий производства кормов для непродуктивных животных

Практика производства кормов для непродуктивных животных показывает, что многие существующие технологии используют сырье с низкими показателями пищевой ценности. В состав кормов часто входят субпродукты, непригодные мясные отходы, растительные компоненты и клетчатка, что приводит к формированию низкопротеинового рациона. Кроме того, добавление химических компонентов, таких как красители, ароматизаторы, консерванты и эмульгаторы, нежелательно для кормления животных (Баюров, 2021; Shurson, 2020).

Ингредиентный состав кормов, представленных на российском рынке, также не всегда обеспечивает необходимую пищевую ценность. Исследования состава 28 различных кормов показали, что основными ингредиентами часто являются переработанные отходы, такие как гидролизованная печень, мясная и кровяная мука, растительные добавки, включая пшеницу и соевый шрот (Баюров, 2020). Однако использование переработанных костей снижает массовую долю белка, что негативно сказывается на питательности кормов. Это выявило необходимость разработки рецептуры, включающей мышечное мясо, с исключением костного сырья, а также технологий для дополнительного извлечения мясной мякоти из мясокостных отходов.

Обзор литературы показал, что тепловая обработка является ключевым этапом переработки мясных отходов, обеспечивающим обеззараживание сырья и облегчение отделения мяса от костей (Shurson, 2020; Gómez et al., 2020). В США такие процессы включают сухую тепловую обработку при темпе-

ратуре 120–135 °С в течение 45–90 минут под давлением 2,8–4,2 бар. Влажная обработка проводится при температуре 140 °С под высоким давлением. В Европейском Союзе регламенты предусматривают обработку при температуре 133 °С в течение 20 минут под давлением 300 кПа (Shurson, 2020). Однако при различных режимах тепловой обработки наблюдается компромисс между повышением пищевой ценности и потерей органолептических качеств (Gómez et al., 2020).

Дополнительное извлечение мышечной мякоти из мясокостных отходов путем автоклавирования при температуре 140 °С и давлении 0,62 МПа используется в технологии производства сублимированного протеинового гидролизата. Этот подход включает разделение протеиновых фракций методом лиофильной сушки, что увеличивает сложность процесса и ограничивает возможность его внедрения на большинстве предприятий (Мезенова и соавт., 2020).

Другой подход предполагает производство гранулированных кормов, включающий измельчение мясокостной массы, смешивание с растительными компонентами, экструдирование, сушку и обогащение дополнительными ингредиентами. Однако многофазность процесса и использование костного компонента снижают пищевую ценность основного белкового сырья (Углов и соавт., 2020).

На основании анализа научных источников разработано проектное решение, включающее оптимальные режимы тепловой обработки мясокостных отходов для обеззараживания, размягчения мышечной массы и получения нового продукта. Обобщенные данные подчеркивают необходимость создания эффективных технологий переработки отходов, ориентированных на пищевой профиль и учитывающих возможности существующих производственных мощностей, включая малые и средние фермерские хозяйства.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объект и предмет исследования

Объектом исследования явилась производственная деятельность предприятий мясоперерабатывающей промышленности в области переработки отходов.

Предмет — реализуемые на предприятиях технологии переработки отходов и получаемые продукты.

### Материалы

В качестве образцов исследования использовались продукты технологий переработки мясного сырья — мясокостные части туш после обвалки, мясокостные отходы от предприятий и фермерских хозяйств.

Образцы мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов от предприятий мясоперерабатывающей промышленности и фермерских хозяйств приобретены в розничной торговой сети г. Москвы и г. Сочи (гипермаркеты «Ашан», «Перекресток», «Глобус», супермаркеты «Пятерочка», «Мираторг», частные магазины предпринимателей, реализующих фермерские мясопродукты).

Рисовая мука, кукурузная мука, амарантовая мука для контрольных проработок по созданию экспериментальных продуктов приобретены в розничной торговой сети.

Исследования проводились в лабораториях кафедры пищевых технологий и биоинженерии Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова в г. Москве.

### Методы и инструменты

Методом наблюдений определялись актуальные аспекты в сфере прикладных наук — сельское хозяйство, технологии продукции животноводства.

Методом аспектного анализа изучен научный контент предметной области глубиной периода 2012–2024гг, размещенный на платформе Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), использующего академические базы данных Scopus, Web of Science, PubMed Central, а также научные статьи, доступные к обзору в поисковых системах Google Scholar, EBSCO, на платформах Elsevier, eLibrary.Ru, cyberleninka.ru, ORCID, порталах ResearchGate, AGRIS.

Статистическим методом по данным литературы определялись тенденции производства мяса. Для

интерпретации статистической информации использовался графический метод с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

Оценка ассортимента мясных и мясокостных полуфабрикатов в торговой розничной сети в ходе маркетинговых исследований проводилась экспертами методом открытого прямого структуризованного наблюдения с заполнением регистрационных листов, отражающих наличие продукции в соответствии с номенклатурой полуфабрикатов, получаемых в ходе разделки мясных туш, согласно ГОСТ 32951–2014 и Сборника рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов<sup>1</sup>.

Сенсорный анализ мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов проводила экспертная комиссия в составе 7 человек по органолептическим показателям внешнего вида, цвета и запаха по ГОСТ 32951–2014. Соотношение содержания мышечного мяса и костей в полуфабрикатах проводили в технологической лаборатории экспериментальным методом в соответствии с ГОСТ 32951–2014 и методом расчёта отходов и потерь при кулинарной (механической и тепловой) обработке продовольственного сырья и пищевых продуктов по ГОСТ 31988–2012.

Технологические решения и параметры дополнительной переработки мясокостных отходов, в результате которых получены мясные гранулы определялись экспериментальным методом путем контрольных технологических проработок в лаборатории с использованием технологического оборудования и инвентаря.

Рецептура натурального сухого корма для непродуктивных животных с использованием мясных гранул и бульона, полученного в ходе тепловой обработки сформирована экспериментальным и расчетным методами путем технологических контрольных проработок с определением норм отходов и потерь на каждом этапе по ГОСТ 31988–2012.

Сенсорный анализ качества сухого корма по органолептическим показателям — внешний вид, цвет,

запах проводили по ГОСТ Р 55453–2022, ГОСТ 13496.13–2018, отбор проб проводили по ГОСТ Р 59369–2021, определение влаги — методом высушивания по ГОСТ Р 54951–2012.

Анализ аминокислотного состава образцов разработанного сухого корма оценивали методом масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре жидкостном LCMS-8060 фирмы Shimadzu corporation (2019). Разделение аналитов проводили на колонке Shim-pack GIST C18-AQ 4,6×250 mm 5 µm. Предварительно проводили кислотный гидролиз проб. Для гидролиза проб в запаянных пробирках использована следующая процедура: в стеклянную пробирку помещали 20 мг образца, добавляли 2 см<sup>3</sup> соляной кислоты с концентрацией 6 М, продували пробу азотом 3–4 раза с последующим плотным закрытием. Далее нагревали пробу в лабораторном термореакторе «Термион» в течении 4 часов при температуре 145 °С. После остывания пробу количественно переносили в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup>, нейтрализовали раствором гидроксида натрия 7,5М и доводили объём до метки водой для лабораторного анализа. Полученный раствор анализировали на приборе. Данные обрабатывали с использованием программного обеспечения к прибору.

Реологическую характеристику текстуры полученного корма для объективной оценки прочностных характеристик (способности к разжевыванию сухого продукта) проводили методом измерения деформации на анализаторе текстуры — «Структурометр-СТ2» (2021) предназначенного для исследований реологических и прочностных свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции по методике ООО «Лаборатория качества». Числовые значения деформации были получены с помощью программных средств приборов-анализаторов, интерпретированы с помощью табличного процессора с построением графиков и линий тренда. Визуализация результатов проведена графическим методом с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

Элемент текстуры — волокна клетчатки определялась методом световой микроскопии на бинокулярном микроскопе «Микровид» при увеличении 100х и окрашивания сафранином.

<sup>1</sup> Лупея, Н.А.(ред.).(2013). *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов.* Москва: Хлебпродинформ.

Сенсорное восприятие разработанного сухого корма непродуктивными животными (домашние собаки, кошки) проводилось методом оценки сенсорного восприятия по результатам кормления с участием владельцев-добровольцев с фото- и видеофиксацией.

Обработка материалов статьи проводилась с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

## Процедура исследования

Исследование состояло из нескольких этапов, каждый из которых направлен на достижение цели разработки технологий переработки отходов мясоперерабатывающих производств и создания нового продукта.

### *Анализ литературных данных*

На первом этапе статистическим методом определялись тенденции в производстве мяса, с акцентом на взаимосвязь между объемами производства и образованием отходов. Системный анализ выявил разрыв между увеличением производства мяса и экологической устойчивостью, что обусловлено недостаточностью технологий переработки отходов. Этот анализ позволил определить цель исследования — разработку технологий для переработки отходов с выпуском новой продукции.

### *Обзор существующих технологий*

На втором этапе проведен систематический анализ технологий переработки отходов мясоперерабатывающих производств, включающий оценку их видового разнообразия, процессов и продуктов. Эвристическим методом определен перспективный сегмент переработки — производство кормов для непродуктивных животных.

### *Анализ технологий производства кормов*

На третьем этапе оценивались компоненты рецептур, параметры технологической обработки и возможности существующих производств для производства кормов из отходов. Методом индукции были теоретически обоснованы решения, позволяющие реализовать переработку в условиях мя-

соперерабатывающих предприятий без создания дополнительных производственных мощностей.

### *Маркетинговые исследования*

На четвертом этапе методом наблюдения изучался ассортимент мясных и мясокостных полуфабрикатов в розничной торговле. Анализ включал оценку полноты использования сырья и качества продукции, отклонения в котором формируют накопленные потребительских отходов.

### *Экспериментальная разработка технологии*

На пятом этапе экспериментально отработывался способ переработки мясокостных отходов с извлечением мышечной мякоти. Разработанная технология предусматривала получение мясных гранул, бульона и очищенных костей, которые стали основой для производства корма для непродуктивных животных.

### *Моделирование и конструирование кормовой системы*

На шестом этапе теоретическое моделирование и экспериментальное конструирование позволили создать поликомпонентную систему для сухого корма. Научно обоснована рецептурная композиция и разработана технология производства корма.

### *Оценка качества конечного продукта*

Заключительный этап включал сенсорный анализ по показателям внешнего вида, цвета и запаха, а также определение содержания влаги, текстурных свойств и аминокислотного состава корма. Сенсорное восприятие корма оценивалось в процессе кормления животных, что позволило подтвердить соответствие продукта стандартам данной категории.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### **Теоретическое обоснование актуальности исследования**

Обзор научной литературы выявил масштабность и актуальность проблемы переработки отходов в мясной отрасли, что обусловлено ростом объемов производства мяса и недостаточной эффек-



тивностью существующих технологий утилизации. Основной задачей является разработка технологий переработки, применимых к предприятиям различной мощности, включая малые и средние хозяйства, с учетом их технических возможностей и экономических ограничений. Научные публикации за период 2017–2024 гг. демонстрируют значительный интерес исследователей к этой теме, что подтверждается увеличением числа исследований, посвященных утилизации отходов, рециклингу и регенерации (Кузлякина & Юрчак, 2017; Monastirskii et al., 2022; Mohan & Long, 2021; Ungureanu et al., 2023).

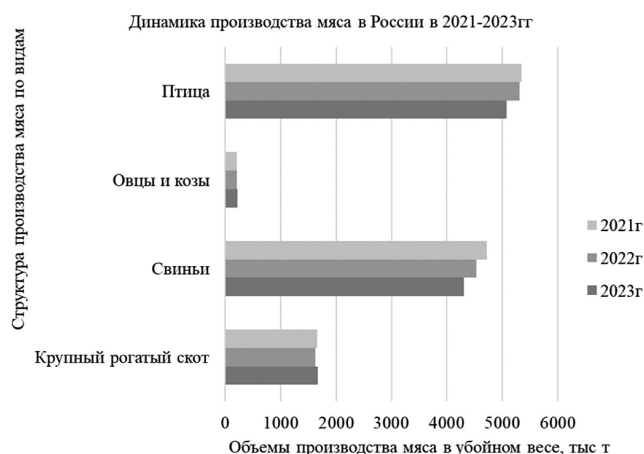
Анализ данных литературы показал, что около 50% сырья, используемого на мясоперерабатывающих предприятиях, преобразуется в отходы, которые зачастую остаются неиспользованными. В то же время динамика роста производства мяса, представленная на основании статистических данных (Рисунок 1), свидетельствует о необходимости внедрения технологических решений для переработки этих отходов. Установлено, что в России основная доля производства приходится на сельскохозяйственные предприятия (75,9–80,5%), тогда как доля малых хозяйств и фермеров составляет 15,7–20,5%. Эти данные подчеркивают важность адаптации технологий переработки для широкого круга производителей.

**Рисунок 1**

Динамика производства мяса в убойном весе в Российской Федерации за 2021–2023 гг

**Figure 1**

Dynamics of Meat Production in Carcass Weight in the Russian Federation for 2021–2023



Технологии переработки отходов, описанные в литературе, варьируются от химических и биотехнологических до комплексных методов, таких как производство биотоплива, кормовых добавок и медицинских материалов. Однако многие из них требуют интеграции с другими отраслями, что делает их неприменимыми для малых предприятий (Арсланова и соавт, 2019; Cruz-Casas et al., 2021; Ferronato et al., 2021; Shurson, 2020). Обзор также выявил необходимость концентрации на технологиях, которые соответствуют специализации основного производства, минимизируют отходы и обеспечивают выпуск продукции с высокой рыночной востребованностью, такой как корма для непродуктивных животных (Бажуров, 2021; Shields et al., 2023).

Особое внимание уделено термическим методам обработки отходов. Литературные данные показывают, что обычное тепловое воздействие, например варка, эффективно обеззараживает сырье, но не гарантирует уничтожения прионов. Это ограничивает использование некоторых видов отходов, таких как свинина, в кормах для собак. Установлено, что использование стерилизации под давлением позволяет не только уничтожить микробную контаминацию, но и отделить дополнительную мякоть от костей, повышая эффективность переработки (Чернявская & Гордынец, 2017; Мезенова и соавт., 2020; Gómez et al., 2020).

Таким образом, анализ исследований подтвердил необходимость разработки новых технологий переработки отходов, ориентированных на производство кормов для непродуктивных животных. Эти технологии должны учитывать современные технические и экономические реалии, быть экологически устойчивыми и интегрироваться в существующую инфраструктуру мясоперерабатывающих предприятий.

## Маркетинговые исследования

Ассортимент мясных и мясокостных полуфабрикатов в торговой розничной сети в ходе маркетинговых исследований наблюдался в категориях свинины и говядины. Оценка данных регистрационных листов показала, что потребителям представлен весь спектр полуфабрикатов, использующихся для приготовления кулинарных изделий — мясные крупнокусковые, порционные, мелкокусковые, мя-

сокостные, в тестовой оболочке, в растительном листе, из рубленой и котлетной массы.

Оценка органолептических показателей в ходе сенсорного анализа, определили соответствие требованиям показателей качества всего спектра полуфабрикатов, кроме мясокостных мелкокусковых полуфабрикатов — рагу и супового набора, внешний вид которых был идентичен мясокостным отходам.

Результат органолептической оценки приобретенных в торговой розничной сети — «Рагу» для тушения из свинины, «Рагу из свинины», «Суповой набор говяжий» рассмотрены ниже.

На Рисунке 2 (А, Б, В, Г) представлены образцы внешнего вида полуфабрикатов рагу и «Суповой набор говяжий» от трех отечественных производителей, указанных в маркировке — ООО «КМПЗ», ЗАО «СК Короча» АПХ Мираторг», ООО «Филъе Проперти».

Органолептическая оценка представленных полуфабрикатов по показателям запаха и цвета соответствовала требованиям<sup>2</sup>. Однако, по показателю «внешний вид» в образцах рагу (Рисунок 2 А, Б) форма кусочков имеет значительные отклонения размеров — от 25 мм до 70мм и разнообразие формы. Масса в одной потребительской упаковке колеблется от 7 г до 50г. Поскольку полуфабрикаты предназначены для производства кулинарной продукции, для оценки внешнего вида учтено описание рагу из традиционных технологий<sup>3</sup>: полуфабрикат рагу изготавливается из мяса свинины представляет собой мясокостные кусочки из грудинки массой 30–40 г каждый с содержанием жира не более 15% и костей — не более 10%.

При экспертном оценивании комиссия пришла к выводу, что в образцах 1 и 2 «Рагу» для тушения (Рисунок 2, А) распил костей на кусочках имеет недопустимо острые окончания, что может привести к травматизации в процессе приготовления блюд

<sup>2</sup> ГОСТ 32951–2014 Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия. Получено из <https://internet-law.ru/gosts/gost/58148/?ysclid=m3bt1qcr5y74826040>

<sup>3</sup> Лупея, Н.А.(Ред.).(2013). *Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов.* Москва: Хлебпродинформ.

**Рисунок 2**

Внешний вид образцов мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов в розничной торговой сети г. Москвы

**Figure 2**

Appearance of Small-Sized Meat and Bone Semi-Finished Products in Retail Stores in Moscow

*Полуфабрикат «Рагу» для тушения*

*“Ragout” Semi-Finished Product for Stewing*



А

Образец 1

Б

Образец 2

*Полуфабрикат «Рагу из свинины»  
«Pork Ragout» Semi-Finished Product*



В

Образец 3

*Полуфабрикат «Суповой набор говяжий»  
«Beef Soup Set» Semi-Finished Product*



Г

Образец 4

**Рисунок 3**

Внешний вид костей после отделения мякоти полуфабриката «Рагу» для тушения

**Figure 3**

Appearance of Bones After Meat Separation from the “Ragout” Semi-Finished Product for Stewing



и при употреблении в пищу. Для демонстрации качества распила костей в полуфабрикате «Рагу» для тушения была отделена мякоть после тепловой обработки и отмечено, что рельеф костей используемого полуфабриката имеет травмоопасные торчащие окончания (Рисунок 3).

Кроме того, органолептическая оценка внешнего вида показала, что на поверхности кусочков полуфабриката «Рагу» для тушения — излишнее количество костной крошки, которая заглубляется в мякоть и частично задерживается после промывания.

**Рисунок 4**

Внешний вид полуфабриката «Рагу» для тушения со следами костной крошки

**Figure 4**

Appearance of the “Ragout” Semi-Finished Product for Stewing with Traces of Bone Fragments



Органолептическая оценка другого мясокостного полуфабриката — «Супового набора говяжьего» показала, что в потребительской упаковке кроме мясокостных кусочков, есть отдельные остатки жира, коллагеновые остатки, на поверхности мякоти — трудно смываемая костная крошка, есть кусочки с наличием соединительной ткани без мышечной мякоти (Рисунок 2Г).

В ходе маркетинговых исследований была оценена корректность отнесения вышеуказанных полуфабрикатов к заявленным в маркировке категориям. Экспериментальным методом проводилось из-

**Таблица 1**

Результаты определения соответствия массовой доли мышечной ткани в мясокостных полуфабрикатах заявленной в маркировке категории

**Table 1**

Results of Determining the Compliance of the Muscle Tissue Mass Fraction in Meat-Bone Semi-Finished Products with the Category Stated on the Label

Наименование полуфабриката, производитель и документация (на маркировке)	Масса брутто полуфабриката, г	Масса мышечной мякоти, г	Массовая доля мышечной мякоти в полуфабрикате, %	Норма массовой доли мышечной мякоти для категории полуфабриката по ГОСТ 32951–2014, %
Рагу для тушения, категория В (ООО «КМПЗ», СТО 23014536–03-2016)	4635,0	1865,0	40,2	40–60
Рагу из свинины, категория В (ЗАО «СК Короча» АПХ Мираторг, СТО 93150011.004–2012)	2040,0	920,0	54,9	40–60
Суповой набор говяжий, категория Д (ООО «Филье Проперти», СТО 45934527–001-2016)	2720,0	885,0	32,5	20 % и менее



мерение соотношения мяса и костей. Результаты представлены в Таблице 1. Исследования проводились с целью формирования выводов о целесообразности выработки ассортимента с несоответствующими характеристиками.

### **Технологические решения переработки мясокостных отходов**

Обзор научных источников сформировал принятие решения о применении технологии переработки мясокостных отходов методом тепловой обработки в автоклаве для обеззараживания массы и ее лучшего отделения от костей. Экспериментальным методом были отработаны режимы и этапы технологической обработки мясокостных отходов: мойка частей мясокостного остова после обвалки, варка в течении 40 минут в автоклаве при температуре 140°C, охлаждение всей мясокостной массы в бульоне до 25°C, извлечение термообработанных мясокостных продуктов, отделение мякоти от костей и измельчения массы на мясорубке. Бульон, в зависимости от количества жира на поверхности предусмотрен к охлаждению до 0°C, процеживанию и сбору жира для дальнейшего использования.

Вареная мясная фаршеобразная масса распределялась тонким слоем на перфорированной поверхности дегидрататора подвергается сушке при температуре 30–35°C в течении 5 часов до состояния сыпучести и просеивалась через перфорации листа дегидрататора, в результате чего высушенная масса приобретает вид мясных гранул.

### **Состав и технология производства кормовых пищевых систем**

Рецептура новой продукции — кормов для непродуктивных животных — была разработана с учетом комплексного использования всех продуктов переработки, включая промежуточные компоненты, такие как мясные гранулы и мясокостный бульон. Термически обработанные кости, благодаря их высокой сохранности, были предложены для дальнейшей переработки в костную муку, пригодную для использования в составе кормов. Разработанные технологические решения соответствуют специализации и техническим возможностям предприятий мясопереработки.

Состав рецептуры был основан на научно обоснованных рекомендациях Баюрова (2021) и Silvério Lopes da Costa с соавторами (2018), с учетом предпочтений потребителей и потребностей животных. В последние годы использование костного компонента в кормах становится менее популярным, поэтому акцент был сделан на компонентах животного происхождения с высоким содержанием белка. Основной питательной основой корма стали белки, с добавлением небольшого количества клетчатки для поддержания функций желудочно-кишечного тракта. Дополнительные ингредиенты включают витамины, минеральные вещества и жиры для обеспечения сбалансированного питания.

Для рецептуры были выбраны следующие компоненты: животный белок (мясные гранулы и мясокостный бульон) и растительный компонент (смесь рисовой, амарантовой и кукурузной муки в заданном соотношении).

Были разработаны и экспериментально апробированы два варианта пищевых систем:

- (1) Первая смесь: мясные гранулы, зерновая композиция и мясокостный бульон. Компоненты смешивались до получения однородной массы вязкой консистенции с содержанием влаги 58%.
- (2) Вторая смесь: зерновая композиция и мясокостный бульон без добавления мясных гранул. Содержание влаги составило 53%.

Каждый из вариантов рецептуры был адаптирован для применения в технологических процессах существующих мясоперерабатывающих предприятий, что обеспечивает их реалистичность и экономическую эффективность.

Разработаны и апробированы этапы технологических процессов производства корма, включающие соединение компонентов рецептурной композиции в миксере путем простого перемешивания в течении 5 минут, отсаживание массы пищевой основы в виде шариков или таблеток размером 10–12 мм на рабочую поверхность дегидрататора, высушивание при температуре 30–35°C в течении 5 часов. В результате были получен сухой корм для непродуктивных животных новой линейки «Органик». Внешний вид продукции представлен на Рисунках 5, 6, 7. Аппаратурно-технологические схема производства гранул — на Рисунке 8.



**Рисунок 5**

Внешний вид ингредиента для сухого корма «Органик» – мясных гранул

**Figure 5**

Appearance of the Ingredient for Dry Pet Food “Organic” – Meat Granules



**Рисунок 6**

Внешний вид сухого корма «Органик» на мясном бульоне

**Figure 6**

Appearance of the Dry Pet Food “Organic” Cooked on Meat Broth



**Рисунок 7**

Внешний вид сухого корма «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул

**Figure 7**

Appearance of the Dry Pet Food “Organic” on Meat Broth with Added Meat Granules



**Рисунок 8**

Схема аппаратно-технологического решения для переработки мясокостных остатков туш для производства мясных гранул

**Figure 8**

Diagram of the Equipment and Technological Solution for Processing Meat-Bone Carcass Residues for the Production of Meat Granules

Мойка мясокостных отходов	Автоклавирование	Охлаждение	Отделение вареной мышечной мякоти от костей	Измельчение вареной мышечной мякоти в фаршевую массу	Высушивание мясной мышечной мякоти в фаршевую массу	Упаковка мясных сушённых гранул
Моечные ванны	Автоклав 40 мин, температура 140°C	Аппарат шоковой заморозки до -25°C	Производственный стол	Мясорубка, диаметр решетки 5мм	Дегидратор, температура 30°C - 35°C, время - 5 час	Вакууматор



Процеживание	Просеивание зернового компонента	Дозирование компонентов	Перемешивание компонентов	Формование массы	Сушка
Сито для бульона, диаметр ячейки 3мм	Просеиватель или сито диаметр ячейки 2 мм	Весовое и мерное оборудование	Универсальный привод	Отсадочная машина, размер форсунок 10-12мм	Дегидратор, температура 30°C - 35°C, время - 5 час



## Исследование качества разработанных сухих кормов для непродуктивных животных

Продукты «Органик» с гранулами и без них, а также мясные гранулы, как ингредиент сухого корма, сравнительным методом определялись на соответствие нормам стандарта ГОСТ Р 55453–2022 по содержанию влаги с целью определения их в категорию сухих кормов. Данные представлены в Таблице 2.

Результаты оценки органолептических показателей кормов:

- (1) внешний вид — высушенные твердые кусочки размером 10–12мм;
- (2) цвет — оттенки светло-коричневого;
- (3) запах — слабо выражен, отсутствуют оттенки недоброкачества.

**Таблица 2**

Результаты определения содержания влаги моделируемых кормовых компонентов и комбинированных систем

**Table 2**

Results of Moisture Content Determination in Modeled Feed Components and Combined Systems

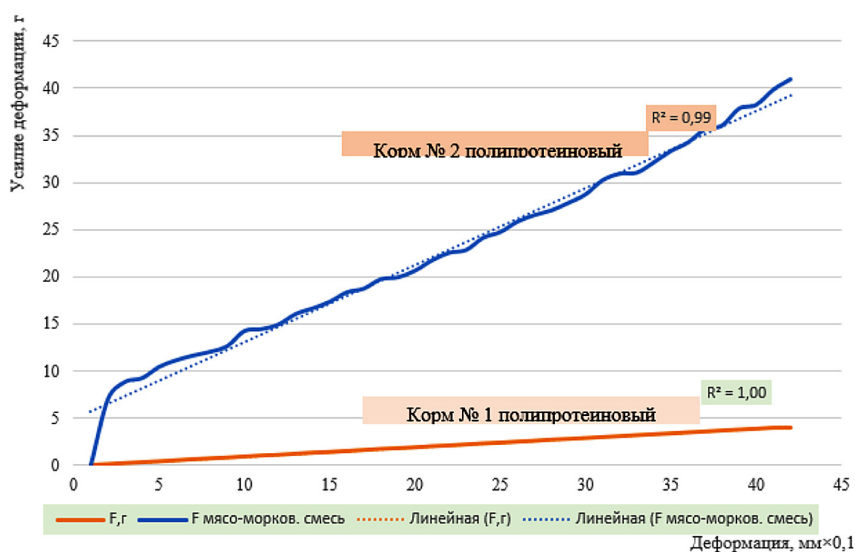
№ пробы и название продукта	Показатели:		
	Масса навески, г	Разность масс навески до и после сушки, г	Содержание влаги, %
1. Сухой корм «Органик» на мясном бульоне	6,77	0,369	5,45
2. Сухой корм «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул	5,33	0,329	6,17
3. Кормовая добавка «Мясные гранулы»	4,034	0,266	6,59
4. Пищевая система для производства корма «Органик» на мясном бульоне.	5,667	2,998	52,90
5. Пищевая система для производства корма «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул	4,216	2,452	58,16

**Рисунок 9**

Реограммы деформации сухого корма «Органик» при нагружении

**Figure 9**

Deformation Rheograms of “Organic” Dry Feed Under Load



Отклик домашних животных на кормление разработанными кормами согласия владельцев показал следующее: кошки, приученные к определенному виду корма, не проявили интерес. Кошки, которые питались как сухим кормом, так и обычными пищевыми продуктами съели корм обоих видов полностью. Собаки породы Такса, получавшие сухой и влажный корма, не отреагировали на корм «Органик» на мясном бульоне и проявили очень большой интерес к корму «Органик» с мясными гранулами. Собаки больших пород – Сенбернар и Среднеазиатская овчарка (алабай) проявляли большой интерес к обоим образцам корма. Восприятие животными – сенсорное положительное, проявлен интерес к кормлению.

Реологические характеристики текстуры кормов, определяемых с помощью анализатора текстуры – «Структурометр-СТ2», представлены на Рисунке 9, где линия «Корм №1 полипротеиновый» соответствует образцу на мясном бульоне, а №2 – образцу на бульоне с мясными гранулами.

Реограмма свидетельствует, что образцы проявляют относительно стабильное поведение при механическом нагружении и разрушаются при определенном усилии, что характеризует наличие твердообразной текстуры. Однако, по числовым показателям усилий деформации можно отметить, что корм не обладает очень высокой

твердостью. Более хрупкой структурой обладает корм без мясных гранул.

Поскольку в разработанных кормах есть составляющая растительного (зернового) происхождения, проведена микроскопия слоя, результат которой представлен на Рисунке 10. Исследование проводилось с целью определения наличия клетчатки, необходимой в небольших количествах животным. Окрашивание пробы сафранином, показало наличие вишнево-красных включений, что оз-

**Таблица 3**

Результаты определения аминокислотного состава сухого корма «Органик» на мясном бульоне

**Table 3**

Results of Amino Acid Composition Analysis of “Organic” Dry Feed Cooked on Meat Broth

Корм «Органик» на мясном бульоне			
№	Наименование аминокислот	Количественный результат, г/100	Метод исследований
1	Аланин	0,014 ± 0,004	ВЭЖХ МС-МС
2	Аргинин,	1,04 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
3	Аспарагин + Аспарагиновая кислота	0,06 ± 0,02	ВЭЖХ МС-МС
4	Глутамин + Глутаминовая кислота	2,10 ± 0,63	ВЭЖХ МС-МС
5	Глицин	0,39 ± 0,12	ВЭЖХ МС-МС
6	Гистидин	0,22 ± 0,07	ВЭЖХ МС-МС
7	Изолейцин	0,57 ± 0,17	ВЭЖХ МС-МС
8	Лейцин	1,03 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
9	Лизин	1,17 ± 0,35	ВЭЖХ МС-МС
10	Метионин	0,07 ± 0,02	ВЭЖХ МС-МС
11	Фенилаланин	0,60 ± 0,18	ВЭЖХ МС-МС
12	Пролин	0,76 ± 0,23	ВЭЖХ МС-МС
13	Серин	0,16 ± 0,05	ВЭЖХ МС-МС
14	Треонин	0,35 ± 0,11	ВЭЖХ МС-МС
15	Транс-4-гидрокси-пролин	0,032 ± 0,010	ВЭЖХ МС-МС
16	Тирозин	0,50 ± 0,15	ВЭЖХ МС-МС
17	Валин	0,58 ± 0,17	ВЭЖХ МС-МС

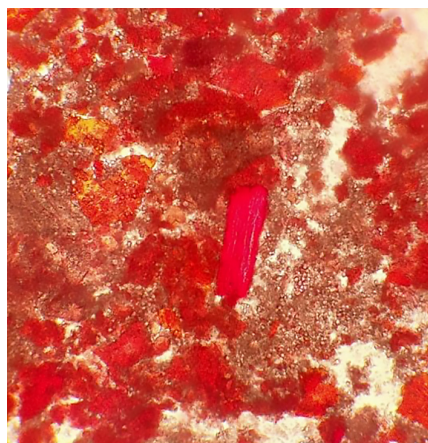
а) аминокислоты указаны на 100 г сухого корма

**Рисунок 10**

Микроструктура слоя базовой поликомпонентной системы сухого корма «Органик»

**Figure 10**

Microstructure of the Base Layer of the Multicomponent System of “Organic” Dry Feed



начает наличие в корме небольшого количества клетчатки в виде отдельных волокон от зерновых компонентов.

Исследование аминокислотного состава кормов «Органик» показали результаты, представленные в Таблице 3.

Аминокислотный состав корма «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами имеет показатели, представленные в Таблице 4.

**Таблица 4**

Результаты определения аминокислотного состава корма «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами

**Table 4**

Results of Amino Acid Composition Analysis of “Organic” Feed Cooked on Meat Broth with Meat Granules

Сухой корм «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами		
Наименование аминокислот	Количественный результат, г/100 г	Метод исследования
1 Аланин	0,045 ± 0,014	ВЭЖХ МС-МС
2 Аргинин	1,04 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
3 Аспарагин + Аспарагиновая кислота	0,063 ± 0,019	ВЭЖХ МС-МС
4 Глутамин + Глутаминовая кислота	2,61 ± 0,78	ВЭЖХ МС-МС
5 Глицин	0,42 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
6 Гистидин	0,28 ± 0,08	ВЭЖХ МС-МС
7 Изолейцин	0,77 ± 0,23	ВЭЖХ МС-МС
8 Лейцин	1,35 ± 0,40	ВЭЖХ МС-МС
9 Лизин	1,66 ± 0,50	ВЭЖХ МС-МС
10 Метионин	0,088 ± 0,026	ВЭЖХ МС-МС
11 Фенилаланин	0,70 ± 0,21	ВЭЖХ МС-МС
12 Пролин	0,91 ± 0,27	ВЭЖХ МС-МС
13 Серин	0,15 ± 0,05	ВЭЖХ МС-МС
14 Треонин	0,45 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
15 Транс-4-гидроксипролин	0,047 ± 0,014	ВЭЖХ МС-МС
16 Тирозин	0,44 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
17 Валин	0,68 ± 0,20	ВЭЖХ МС-МС

а) аминокислоты указаны на 100 г сухого корма

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рост производства мяса неизбежно приводит к увеличению объема отходов, что представляет серьезную экологическую проблему. Это подтверждают предыдущие исследования, отмечающие, что отходы мясоперерабатывающих предприятий составляют до 50% перерабатываемого сырья (Балаякина и соавт., 2021; Kim et al., 2020; Martin-Rios et al., 2022). Международные программы устойчивого развития нацелены на внедрение малоотходных технологий, но, как показали ранее Monastirskii et al. (2022) и Lipinski (2020), доступ к таким технологиям имеет преимущественно крупный бизнес, оставляя фермерские и малые предприятия вне программы рециклинга.

Сравнение наших результатов с ранее известными подтверждает, что разработанные технологии переработки отходов в сухие корма соответствуют вызовам, обозначенным в литературе. Так, Cruz-Casas et al. (2021) отмечают сложность внедрения междисциплинарных технологий на малых предприятиях, а наша технология ориентирована на их основную специализацию, не требуя интеграции с химическими или биотехнологическими процессами.

Наши наблюдения за качеством полуфабрикатов «Рагу» для тушения и «Суповой набор» согласуются с результатами Горбуновой & Петруниной (2021), которые также указывали на образование потребительских отходов из-за низкого качества продукции. В частности, нами были выявлены отклонения в органолептических показателях, таких как содержание мякоти и текстура полуфабрикатов, что совпадает с выводами, сделанными в исследовании Тюрина и соавт. (2023).

Разработанная технология переработки мясокостных остатков в корм с натуральным составом демонстрирует преимущества перед известными технологиями. Например, амарантовая мука, как источник незаменимых аминокислот и сквалена, была предложена в исследованиях Silvério Lopes da Costa et al. (2018), но в нашем подходе она впервые интегрирована в состав кормов для непродуктивных животных. Использование стерилизации и дегидратации, что ранее предлагалось Shurson (2020), позволило нам создать продукт с длительным сроком хранения без консервантов. Кроме того, анализ



аминокислотного состава показывает, что корм соответствует или превышает нормативные показатели ГОСТ. Например, содержание лизина и лейцина в корме с мясными гранулами составляет 1,66 г и 1,35 г соответственно, что превосходит как нормативы, так и результаты ранее опубликованных исследований (Shields et al., 2023).

Тем не менее, наше исследование выявило некоторые ограничения, связанные с использованием растительных компонентов. Щадящий режим высушивания при 30–35°C предотвращает реакцию меланоидинообразования, но в то же время крахмалсодержащие компоненты, такие как кукурузная мука, придают корму хрупкость, что может ограничивать его использование для животных с проблемами зубов. Подобные проблемы не были описаны в исследованиях Gizatova et al. (2021), что может указывать на необходимость дальнейшей оптимизации рецептуры.

Наконец, наши результаты подтверждают выводы Баюрова (2020) о растущем спросе на натуральные корма для животных. Отсутствие глютена в составе и использование растительных волокон в небольших количествах делают продукт безопасным и соответствующим требованиям рационального питания.

В целом, разработанные технологические решения демонстрируют конкурентные преимущества по сравнению с ранее известными подходами, предлагая экономически доступный и экологически устойчивый способ переработки мясокостных отходов. Они могут быть внедрены на предприятиях различной мощности, что позволит не только сократить объем отходов, но и увеличить добавленную стоимость продукции.

## Ограничения исследования

Текущее исследование имеет ограничения, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов и разработке дальнейших направлений работы. Образцы для исследования, включая мясокостные отходы, полуфабрикаты и сырьевые компоненты, были собраны в ограниченном географическом регионе (г. Москва и г. Сочи) и не могут полноценно отразить особенности переработки и качества продукции на предприятиях других ре-

гионов или стран. Кроме того, исследования проводились в лабораторных условиях с использованием оборудования, доступного на базе университета. Это может затруднить масштабирование предложенных технологических решений для промышленных предприятий, где оборудование и условия производства значительно отличаются.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ достижений науки в области переработки мясных отходов показал, что в настоящее время большинство предприятий, включая фермерские и малые хозяйства, не располагают эффективными технологиями для переработки отходов, что негативно сказывается на экологической ситуации. В рамках проведенного исследования была разработана универсальная технология, позволяющая снизить объем отходов на предприятиях различной мощности с использованием доступного оборудования, уже установленного на большинстве мясоперерабатывающих производств.

Ключевым решением стало применение тепловой обработки, обеспечивающей извлечение дополнительной мышечной мякоти из мясокостных остатков. Это позволило получить полноценную мясную массу, которая была интегрирована в рецептуру кормов для непродуктивных животных. Применение режима тепловой обработки также обеспечило обеззараживание сырья, включая уничтожение прионов, что ранее ограничивало использование свинины в кормах для собак.

В отличие от существующих рецептур сухих кормов, разработанный состав не содержит мясокостной массы, так как ее присутствие снижает качество и количество белка. Вместо этого были использованы полученные промежуточные продукты: мясная масса для изготовления гранул, мясокостный бульон для формирования базовой смеси, а кости переработаны в костную муку. Такой подход позволяет предприятиям организовать замкнутый производственный цикл, минимизируя образование отходов.

Качество полученного продукта полностью соответствует нормативам. Предложенные технологические решения позволяют не только снизить экологическую нагрузку, но и увеличить добавленную

стоимость продукции. Применение этой технологии может способствовать вовлечению большего числа предприятий, включая малые и фермерские хозяйства, в программы переработки отходов, тем самым улучшая экологическую устойчивость мясоперерабатывающей отрасли и способствуя сохранению окружающей среды.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Ольга Владимировна Беспалова:** концептуализация, методология, предоставление ресурсов, проведение исследования, валидация результатов, формальный анализ, курирование данных, администрирование, руководство исследовательским проектом, создание рукописи, рецензирование и редактирование.

**Александр Юрьевич Соколов:** концептуализация, методология, проведение исследования, валида-

ция, формальный анализ, визуализация, написание рукописи.

**Александр Александрович Гажур:** концептуализация, методология, валидация, формальный анализ, визуализация, написание рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Olga V. Bepalova:** conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, data curation, project administration, writing – review & editing.

**Alexander Yu. Sokolov:** conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, visualization, writing draft preparation.

**Alexander A. Gazhur:** conceptualization, methodology, validation, formal analysis, visualization, writing draft preparation.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Асланова, М.А., Деревицкая, О.К., Солдатова, Н.Е., & Боро, А.Л. (2024). Пищевой коллаген: биологическая ценность и отличительные признаки. *Мясная индустрия*, (4), 22–24. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-04-22-24>
- Aslanova, M.A., Derevickaya, O.K., Soldatova N.E., & Bero, A.L. (2024). Food grade collagen: Biological value and distinctive features. *Meat Industry*, (4), 22–24. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-04-22-24>
- Бабурина, М. И., Горбунова, Н. А., & Иванкин, А. Н. (2021). Ферментативная дефрагментация костного сырья для получения высококачественного белкового продукта. *Мясная индустрия*, (12), 14–18. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-12-35-39>
- Baburina, M. I., Gorbunova, N. A., & Ivankin, A. N. (2021). Enzymatic defragmentation of bone raw materials to obtain a high-quality protein product. *Meat Industry*, (12), 14–18. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-12-35-39>
- Бабурина, М.И., Горбунова, Н.А., & Иванкин, А.Н. (2024). Переработка мясокостного сырья в корма для непродуктивных животных. *Мясная индустрия*, (7), 30–33. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-07-30-33>
- Baburina, M.I., Gorbunova, N.A., & Ivankin, A.N. (2024). Processing of meat-and-bone raw materials into feed for non-productive animals. *Meat Industry*, (7), 30–33. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-07-30-33>
- Балякина, К.Д., Детиненко, С.А., & Чернегов, Н.Ю. (2021). Переработка вторичных ресурсов как метод повышения эффективности деятельности предприятия АПК. *Modern Science*, 4(1), 77–86.
- Balyakina, K. D., Detinenko, S. A., & Chernegov, N. Yu. (2021). Recycling of secondary resources as a method of increasing the efficiency of an agro-industrial complex enterprise. *Modern Science*, 4(1), 77–86. (In Russ.)
- Баюров, Л.И. (2021). Сухие и влажные корма в кормлении собак: что лучше? *Научный журнал кубанского государственного аграрного университета*, 170(6), 1–22. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-170-001>
- Bayurov, L.I. (2021). Dry and wet dog food in feeding dogs: what is better? *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 170(6), 1–22. (In Russ.) <http://doi.org/10.21515/1990-4665-170-001>
- Баюров, Л.И. (2023). Сравнительная характеристика сухих кормов зарубежного производства для взрослых кошек. *Научный Журнал КубГАУ*, 186(02), 1–20. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-172-002>
- Bayurov, L.N. (2023). Comparative assessment of Russian dry feed for adult large-breed dogs. *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 186(02), 1–20. (In Russ.) <http://doi.org/10.21515/1990-4665-172-002>
- Горбунова, Н. А., & Петрунина, И. В. (2023). Проблемы использования отходов при производстве продукции предприятиями мясной отрасли. *Мясная индустрия*,

- (9), 32–36. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2023-09-32-36>
- Gorbunova, N.A., & Petrunina, I.V. (2023). Waste management problems in manufacturing products by enterprises of the industry. *Meat Industry*, (9), 32–36. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2023-09-32-36>
- Ибрагимов, А.Г. (2019). Экологические проблемы сельского хозяйства. *Аграрная наука*, (4), 73–75. <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-73-75>
- Ibragimov, A. G. (2019). Ecological problems of agriculture. *Agrarian Science*, (4), 73–75. (In Russ.) <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-73-75>
- Казakov, Н.Н. (2012). *Разработка консервированного полнорационного корма для собак с коррекцией дисбаланса рациона* [Кандидатская диссертация]. Воронежский государственный университет инженерных технологий.
- Kazakov, N.N. (2012). *Development of canned full-fat dog food with correction of dietary imbalance* [Doctoral dissertation]. Voronezh State University of Engineering Technologies. (In Russ.)
- Конурбаева, Ж.Т., Денисова, О.К., & Закимова, А.М. (2019). Международная практика использования вторичного сырья в отрасли животноводства. *Проблемы агрорынка*, (2), 138–145.
- Konurbayeva, Zh.T., Denisova, O.K., & Zakimova, A.M. (2019). International practice of using secondary raw materials in the field of livestock production sector. *Problems of Agrimarket*, (2), 138–145. (In Russ.)
- Крылова, А.Ю., Зайченко, В.М., Гаева, Т.Н., Лишинер, И.И., & Малова, О.В. (2023). Целесообразность создания промышленного производства жидкого биотоплива в России. *Российские нанотехнологии*, 18(1), 15–23. <http://doi.org/10.56304/S1992722323010065>
- Krylova, A.Yu., Zaichenko, V.M., Gaeva, T.N., Lishiner, I.I., & Malova, O.V. (2023). Feasibility of creating industrial production of liquid biofuels in Russia. *Nanobiotechnology Reports*, 18(1), 15–23. (In Russ.) <http://doi.org/10.56304/S1992722323010065>
- Кузлякина, Ю.А., & Юрчак, З.А. (2017). К вопросу экологической безопасности: побочное сырье и отходы мясной промышленности. *Все о мясе*, (6), 29–31.
- Kuzlyakina, Yu. A., & Yurchak, Z. A. (2017). Environmental safety problem: By-products and waste of the meat industry. *Vsyo o Myase*, (6), 29–31. (In Russ.)
- Кузлякина, Ю. А., & Замула, В. С. (2020). Практика управления экологическими рисками на мясоперерабатывающем предприятии. *Все о мясе*, (6), 19–22. <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-6-19-22>
- Kuzlyakina, Yu.A., & Zamula, V.S. (2020). Environmental risk management practice at a meat processing plant. *Vsyo o Myase*, (6), 19–22. (In Russ.) <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-6-19-22>
- Мезенова, Н.Ю., Агафонова, С.В., Мезенова, О.Я., Байдалинова, Л.С., & Бедарева, О.М. (2020). Исследование процесса модификации мясокостного сырья крупного рогатого скота методом высокотемпературного гидролиза. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (1), 18–26. <http://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-18-26>
- Mezenova, N.Yu., Agafonova, S.V., Mezenova, O.Ya., Bajdalinova, L.S., & Bedareva, O.M. (2020). The process of modifying cattle meat and bone raw materials by high-temperature hydrolysis. *Processes and Food Production Equipment*, (1), 18–26. (In Russ.) <http://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-18-26>
- Никитина, М.А., Осянин, Д.Н., & Петрунина, И.В. (2020). Цифровые технологии – инновационные решения для сельского хозяйства. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*, 1(38), 127–132. <http://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-127-132>
- Nikitina, M.A., Osyanin, D.N., & Petrunina, I.V. (2020). Digital technologies - innovative solutions for agriculture. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*, 1(38), 127–132. (In Russ.) <http://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-127-132>
- Петрунина, И.В., & Горбунова, Н.А. (2024). Использование модели экономики замкнутого цикла в отдельных отраслях агропромышленного комплекса. *Пищевые системы*, 7(2), 231–237. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Petrunina, I.V., & Gorbunova, N.A. (2024). Using the model of closed-loop economy in certain branches of the agro-industrial complex. *Food Systems*, 7(2), 231–237. (In Russ.) <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Порфирьев, Б.Н. (2020). Повышение эффективности обращения с отходами производства и потребления. *Проблемы прогнозирования*, 1(178), 123–125.
- Porfiriyev, B.N. (2020). Improving the efficiency of production and consumption waste management. *Problemy Prognozirovaniya*, 1(178), 123–125. (In Russ.)
- Рамазанов, И.А., Николаева, М.А., & Рамазанов, С.А. (2024). Экосистемный подход как инструмент решения проблем мясного рынка. *Аграрная наука*, (5), 129–135. <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
- Ramazanov, I.A., Nikolaeva, M.A., & Ramazanov, S.A. (2024). Ecosystem approach as a tool for solving meat market problems. *Agrarian Science*, (5), 129–135. (In Russ.) <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
- Соколов, А.Ю. (2023). Отечественные разработки белковых систем типа «Коллаген» для решения задач отраслевого импортозамещения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 200–211. <http://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>
- Sokolov, A.Yu. (2023). Domestic developments of protein systems such as «collagen» for solving the problems of industrial import substitution. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 200–211. (In Russ.) <http://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>



- Тюрин, В.Г., Родионова, Н.В., Бирюков, К.Н., Обухов, И.Л., & Авылов, Ч.К. (2023). Особенности экосистемы биологических прудов в процессе естественной очистки животноводческих стоков. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 2(46), 208–211. <http://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302012>
- Tyurin, V.G., Rodionova, N.V., Biryukov, K.N., Obukhov, I.L., & Avylov, Ch.K. (2023). Features of the ecosystem of biological ponds in the process of natural treatment of livestock wastewater. *Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 2(46), 208–211. (In Russ.) <http://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302012>
- Углов, В.А., Шелепов, В.Г., Бородай, Е.В., & Слепчук, В.А. (2020). Перспективы использования вторичных ресурсов мясоперерабатывающих отраслей на основе патентных исследований. *Контроль качества и безопасности пищевой продукции*, 3(29), 39–46. <http://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-39-46>
- Uglov, V. A., Sheleпов, V. G., Borodaj, E. V., & Slepchuk, V. A. (2020). Prospects for using secondary resources of meat processing industries based on patent research. *Innovations and Food Safety*, 3(29), 39–46. (In Russ.) <http://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-39-46>
- Хайруллина, О.И. (2021). Тенденции производства и потребления основных видов мяса в России. *Креативная экономика*, 15(5), 2245–2260. <http://doi.org/10.18334/ce.15.5.112098>
- Hajrullina, O. I. (2021). Trends in the production and consumption of the main types of meat in Russia. *Creative Economy*, 15(5), 2245–2260. (In Russ.) <http://doi.org/10.18334/ce.15.5.112098>
- Чернявская, Л. А., & Гордынец, С. А. (2017). Использование побочных продуктов переработки мяса в производстве сухих гранулированных кормов для непродуктивных животных. *Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве* (с. 197–201). Ярославль: Ярославская ГСХА.
- Chernyavskaya, L.A., & Gordynec, S.A. (2017). Utilization of meat by-products in the production of dry pelleted feeds for non-productive animals. *Improving the level and quality of nutrient potential in livestock production* (pp. 197–201). Yaroslavl': Yaroslavskaia GSHA. (In Russ.)
- Alibekov, R.S., Alibekova, Z.I., Bakhtybekova, A.R., Taip, F.S., Urazbayeva, K.A., & Kobzhazarova, Z.I. (2024). Review of the slaughter wastes and the meat by-products recycling opportunities. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (8), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1410640>
- Bilka, B., Tomaszewska, M., Kołożyn-Krajewska, D., Szczepański, K., Laba, R. & Laba, S. (2020). Environmental aspects of food wastage in trade – a case study. *Environmental Protection and Natural Resources*, 31(2), 24–34. <http://doi.org/10.2478/oszn-2020-0009>
- Chowdhury, M.W., Nabi, M.N., Arefin, M.A., Rashid, F., Islam, M.T., Gudimetla, P. & Muyeen, S. M. (2022). Recycling slaughterhouse wastes into potential energy and hydrogen sources: An approach for the future sustainable energy. *Bioresource Technology Reports*, (19), 101–133. <http://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101133>
- Cruz-Casas, D.E., Aguilar, C.N., Ascacio-Valdés, J.A., Rodríguez-Herrera, R.Chávez-González, M.L., & Flores-Gallegos, A.C. (2021). Enzymatic hydrolysis and microbial fermentation: the most favorable biotechnological methods for the release of bioactive peptides. *Food Chemistry*, (3), 100047. <http://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100047>
- Donadelli, R.A., Jones, C.K., & Beyer, R.S. (2019). The amino acid composition and protein quality of various egg, poultry meal by-products, and vegetable proteins used in the production of dog and cat diets. *Poultry Science*, 98(3), 1371–1378. <http://doi.org/10.3382/ps/pey462>
- Ganeson, K., Mouriya, G.K., Bhubalan, K., Razifah, M.R., Jasmine, R., Sowmiya, S., Amirul, A. A, Vigneswar, S. & Ramakrishna, S. (2023). Smart packaging – A pragmatic solution to approach sustainable food waste management. *Food Packaging and Shelf Life*, (36), 101–144. <http://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101044>
- Gizatova, N., Gizatov, A., Zubairova, L., Mironova, I., Nigmatyanov, A., Chernyshenko, Y., & Pleshkov, A. (2021). Development of technology for the production of sausage produce using secondary collagen-containing raw materials. *International Journal of Food Studies*, (10), 282–295. <http://doi.org/10.7455/ijfs/10.2.2021.a1>
- Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., & Beriain, M. J. (2020). The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. *Foods*, 9(10), 1416. <http://doi.org/10.3390/foods9101416>
- Ferronato, G., Corrado, S., De Laurentiis, V., & Sala, S. (2021). The Italian meat production and consumption system assessed combining material flow analysis and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 321, Article 128705. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128705>
- Izydorczyk, G., Mikula, K., Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Mironiuk, M., Furman, K., Gramza, M., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2022). Valorization of poultry slaughterhouse waste for fertilizer purposes as an alternative for thermal utilization methods. *Journal of Hazardous Materials*, 424, Article 127328. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127328>
- Juknienė, I., Zaborskienė, G., Jankauskienė, A., Kabašinskienė, A., Zakarienė, G., & Bliznikas, S. (2022). Effect of lyophilization process on nutritional value of meat by products. *Applied Sciences*, 12, Article 1012984. <https://doi.org/10.3390/app122412984>
- Karwowska, M., Laba, S., & Szczepański, K. (2021). Food loss and waste in the meat sector – Why the consumption stage generates the most losses? *Sustainability*, 13(11), Article 6227. <https://doi.org/10.3390/su13116227>
- Kilibarda, N., Karabasil, N., & Stojanović, E. (2023). Meat matters: Tackling food loss and waste in the meat sector. *Meat Technology*, 64(2), 177–182. <https://doi.org/10.18485/meattech.2023.64.2.32>
- Kim, V. V., Galaktionova, E. A., & Antonevich, R. V. (2020). Food losses and food waste in the consumer market of the



- Russian Federation. *International Agricultural Journal*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10191>
- Kowalski, Z., Kulczycka, J., Makara, A., & Harazin, P. (2021). Quantification of material recovery from meat waste incineration – An approach to an updated food waste hierarchy. *Journal of Hazardous Materials*, 416, Article 126021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126021>
- Lipinski, B. (2020). Why does animal-based food loss and waste matter? *Animal Frontiers*, 10(4), 48–52. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa039>
- Martin-Rios, C., Arbolea, J. C., Bolton, J., & Erhardt, N. (2022). Editorial: Sustainable food waste management. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 885250. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.885250>
- Monastirskii, D., Kulikova, M. A., & Volchek, A. (2022). An analysis of a waste management approach for pig farms. *Journal of Agriculture and Environment*, 11(39), 1–6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804001>
- Mohan, A., & Long, J. M. (2021). Valorization of wastes and by-products from the meat industry. In *Valorization of agri-food wastes and by-products* (pp. 245–268). Georgia: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00010-6>
- Nouri, K., Khalaji, S., Zamani, F., & Saki, A. (2021). Acid hydrolysis of gelatin extracted from cow skin: Properties and potential for use as a source of small peptides and free amino acids for broiler chickens. *Animal Production Science*, 61(4), 399–411. <https://doi.org/10.1071/AN20411>
- Raihan, A. (2023). The influence of meat consumption on greenhouse gas emissions in Argentina. *Resources Conservation & Recycling Advances*, 19(4), Article 200183. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200183>
- Rosemarin, A., Macura, B., Carolus, J., Barquet, K., Ek, F., Järnberg, L., Lorick, D., Johannesdottir, S., Pedersen, S.M., Koskiaho, J., Haddaway, N.R., Okruszko, T. (2020). Circular nutrient solutions for agriculture and wastewater: Review of technologies and practices. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.09.007>
- Seredin, P., Goloshchapov, D., Emelyanova, A., Buylov, N., Kashkarov, V., Lukin, A., Ippolitov, Yu., Khmelevskaya, T., Mahdi, I. A., & Mahdi, M. A. (2022). *Engineering of biomimetic mineralized layer formed on the surface of natural dental enamel. Results in Engineering*, (15), 100583. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100583>
- Sharma, S., Mitra, F., Imran, Z., & Verma, M. (2021). A brief review on the utilization of waste products from the meat industry. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 8, 856–863. <http://doi.org/10.1007/s13202-021-01370-4>
- Shields, C. J., Rozzi, N. L., Aldrich, C. G., & Talavera, M. J. (2023). Effects of different chicken protein sources on palatability in dry adult dog food. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1292658>
- Shurson, G. K. (2020). “What a waste” – Can we make animal food production systems more sustainable by recycling food waste into animal feed in an era of health, climate and economic crises? *Sustainability*, 12(17), Article 7071. <https://doi.org/10.3390/su12177071>
- Silvério Lopes da Costa, S., Pereira, A., Passos, E. A., Hora Alves, J.P., Borges Garcia, C.A., & Araujo, R. (2018). Evaluation of the chemical composition of dry feeds for dogs and cats. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(12), 1–10. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180142>
- Suychinov, A., Akimova, A., Kakimov, D. A., Zharykbasov, Y., Baikadamova, A., Okuskhonova, E., Bakiyeva, A., & Ibragimov, N. (2024). Revolutionizing meat processing: A nexus of technological advancements, sustainability, and cultured meat evolution. *Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 331–346. <https://doi.org/10.5219/1957>
- Ungureanu, N., Vladut, V., Biris, S.S., & Gheorghita, N.E. (2023). Management of waste and by-products from meat industry. *International Symposium ISB-INMATEH – Agricultural and Mechanical Engineering* (pp.256-267). Bucharest: INMA.
- Zhou, Z., Feng, W., Moghadas, K., Baneshi, N., Noshadi, B., Baghaei, S., & Dehkordi, D.A. (2024). Review of recent advances in bone scaffold fabrication methods for tissue engineering for treating bone diseases and sport injuries. *Tissue and Cell*, 88(6), Article 102390. <http://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102390>