

На правах рукописи



КОРОТКИХ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ
ХОЛОДИЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ В СРЕДЕ
ОБОГАЩЕННОЙ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА**

4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Кемерово 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» (ФГБОУ ВО КемГУ)

Научный руководитель: **Неверов Евгений Николаевич**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Соколов Александр Викторович**
доктор технических наук, доцент, Ассоциация «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания», начальник центра по работе с проектами

Можжерина Ирина Васильевна
кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», кафедра товароведения и технологии продуктов питания, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград

Защита состоится «30» июня 2023 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.315.05 при ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по адресу: 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, 2 лекц. ауд., тел.: (8-3842) 39-05-37.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» <https://kemsu.ru/science/dissertation-councils/diss-24-2-315-05/protects/41344/>

Отзывы на автореферат отправлять по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Милентьева Ирина Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Проблема голода в мировом масштабе далека от своего решения. Причем глобальные тенденции свидетельствуют о росте дефицита пищевых ресурсов в перспективе. В то же время до 40 % произведенного в мире продовольствия теряется в результате порчи вследствие несоблюдения условий хранения. При этом природные, технологические и климатические факторы ограничивают дальнейшее валовое увеличение производства сельскохозяйственной продукции. Таким образом следует значительно больше внимания уделять развитию технологий длительного хранения произведённой пищевой продукции. А совершенствование технологических подходов при хранении продовольственных ресурсов, основанных на нетрадиционных технологических принципах, приобретают особую значимость.

Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20 утверждена Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Она составлена на основе положения Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года и формулирует ряд задач, решение которых обеспечит продовольственную безопасность нашего государства.

Важнейшими из задач являются:

- обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией;
- устойчивое развитие и модернизация сельского и рыбного хозяйства и инфраструктуры внутреннего рынка;
- формирование высокопроизводительного сектора, развивающегося на основе современных технологий, обеспеченного научными работниками и высококвалифицированными специалистами.

Рыбная продукция составляет важную часть рациона значительной группы населения. При этом продолжительность хранения рыбной продукции ограничена. В процессе хранения вяленой и копченой рыбы протекают окислительные, протеолитические и физико-химические процессы, связанные с потерей влаги, в результате чего появляются потери массы продукта, «усушка». Данный процесс может быть связан с воздействием воздуха или хранением рыбы в слишком сухой среде. Со временем могут разрушаться и денатурировать белки, что приводит к потере массы и уменьшению размеров. Этот процесс известен как автолиз и является естественной частью процесса порчи рыбы. Рост бактерий на поверхности рыбы может привести к выработке ферментов, разрушающих ткани рыбы, что приводит к потере объема и уменьшению размеров. Этот процесс известен как протеолиз. Режим холодильной обработки вызывает следующее: образующиеся кристаллы льда могут повредить клеточные мембраны, что приведет к потере влаги и уменьшению массы.

В пищевой промышленности недостаточно методов, снижающих потери массы копченой рыбы при хранении. В основном используют различные виды упаковки: полиэтиленовые пакеты, вакуумную упаковку, стекло. Но эти методы не обеспечивают заданных показателей по уменьшению усушки или приводят к органолептическим изменениям, снижению качественных показателей, ухудшению уровня микробиологической безопасности и значительному увеличению стоимости готового продукта. Задачи, связанные с совершенствованием

технологии хранения вяленой и копченой рыбы, являются актуальными и их решение позволит внести значительный вклад в организацию поставок рыбной продукции в различные регионы страны, существенно снизить потери.

Степень разработанности темы.

Проблематика изучения методов снижения производственных потерь при хранении рыбы и рыбной продукции представлена в исследованиях таких ученых, как: Абрамова Л.С., Тихонов А.Л., Рогов И.А., Курко В.И., Фатыхов Г.И., Касьянов В.А., Оноприйко А.М., Ершов Ю.Т., Глазунов В.А., Гроховский Ю.В., Просеков А.Ю., Висков Д.А., Пономаренко И.Э., Бражная М.А., Ершов В.А., Соколов А.В., Бредихина О.В., Будина В.Г., Васюкова А.Т., Громова В.А., Гроховский В.А., Cho S.V., Devahastin S., Prior B., Wasson D.H. и другие.

Цель работы – совершенствование научно-практических основ хранения вяленой и копченой рыбы, разработка новых методов снижения усушки, основанных на применении пищевых покрытий и диоксида углерода при обеспечении высоких показателей качества.

Задачи работы:

- разработать методику определения продолжительности сублимации пресованного снегообразного сухого льда и составить ее математическое описание;
- исследовать влияние пищевых покрытий и режимов хранения вяленой и копченой рыбы на сохранность влаги и физико-химические свойства;
- выявить закономерности изменения микробиологических показателей вяленой и копченой рыбы при хранении и разработать многофакторную балльную систему органолептической оценки вяленой и копченой рыбы;
- изучить особенности дегидратации вяленой и копченой рыбы в среде, обогащенной диоксидом углерода и составить математическую модель влагопотерь при хранении рыбной продукции;
- разработать рациональные технологические параметры хранения рыбной продукции, применяя различные способы сокращения усушки;
- провести испытания новой технологии обработки и хранения вяленой и копченой рыбы в условиях производства, разработать и утвердить пакет технической документации на способы хранения вяленой и копченой рыбы и рассчитать размер выгоды от предложенной технологии.

Научная новизна работы. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 5, 11, 15, 27 и 38 паспорта специальности ВАК 4.3.3 – «Пищевые системы».

Выявлено влияние покрытий на основе хитозана и моноглицерида на величину усушки вяленой и копченой рыбы.

Доказано, что применение диоксида углерода обеспечивает снижение усушки и способствует увеличению продолжительности хранения.

Выявлены закономерности сублимации твердого диоксида углерода. На основании энергетического баланса и при условии квазистационарного процесса на границе фаз сухого льда и воздуха разработана методика расчета продолжительности сублимации пресованного снегообразного диоксида углерода.

Установлены закономерности изменения массы вяленой и копченой рыбы в процессе хранения в среде диоксида углерода.

Построена модель потери влаги вяленой и копченой рыбы при хранении в среде диоксида углерода.

Техническая новизна работы, подтверждена патентами:

Способ хранения вяленой и копченой рыбы в среде диоксида углерода (Патент № 2728222РФ, МПКА23В4/00(2006.01).

Установка для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (Патент № 2723500 РФ, МПК В65D88/74 (2006.01).

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложена эффективная технология хранения вяленой и копченой рыбы в среде, обогащенной диоксидом углерода. Установлены нормы расхода диоксида углерода.

Разработаны и утверждены ТУ и ТИ № 10.20.23-280-02068309-2021 «Рыба сушено-вяленая, хранимая в среде диоксида углерода», применение которых востребовано производственными и торговыми предприятиями, что подтверждено испытаниями в условиях реального производства организаций ООО «Алинкино», ООО «Инноватор» и ООО «Технохолд» Кемеровской области. Проведенные испытания показали рациональность и эффективность предложенных методик.

Полученные результаты используются в образовательном процессе ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» при подготовке бакалавров по направлениям подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения и 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания. А также в магистерских программах 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения и 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Методология и методы исследования. Исследование состоит из теоретического, экспериментального и практического блоков. Для реализации поставленных задач применялись современные методики сбора и статистической обработки исходной информации и экспертных исследований; экспериментальные данные исследований выполнены с применением стандартных методик, оборудования и приборов, с последующей статистической обработкой результатов.

Положения, выносимые на защиту:

Обоснование использования пищевых покрытий и диоксида углерода для уменьшения усушки и обеспечения стабильности органолептических показателей при хранении вяленой и копченой рыбы.

Математическое описание и аналитическая методика определения продолжительности сублимации прессованного снегообразного сухого льда, используемого в технологии хранения вяленой и копченой рыбы.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 16 научных работ, в том числе 3 публикации в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 5 статей – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 6 публикаций – в материалах конференций, также получены 2 патента РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора научно-технической и патентной литературы, методической и экспериментальной частей, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 27 рисунков, 16 таблиц, 11 приложений. Список литературы содержит 128 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с поставленными задачами в научно-исследовательских лабораториях ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Общая схема проведения исследований приведена на рис. 1.

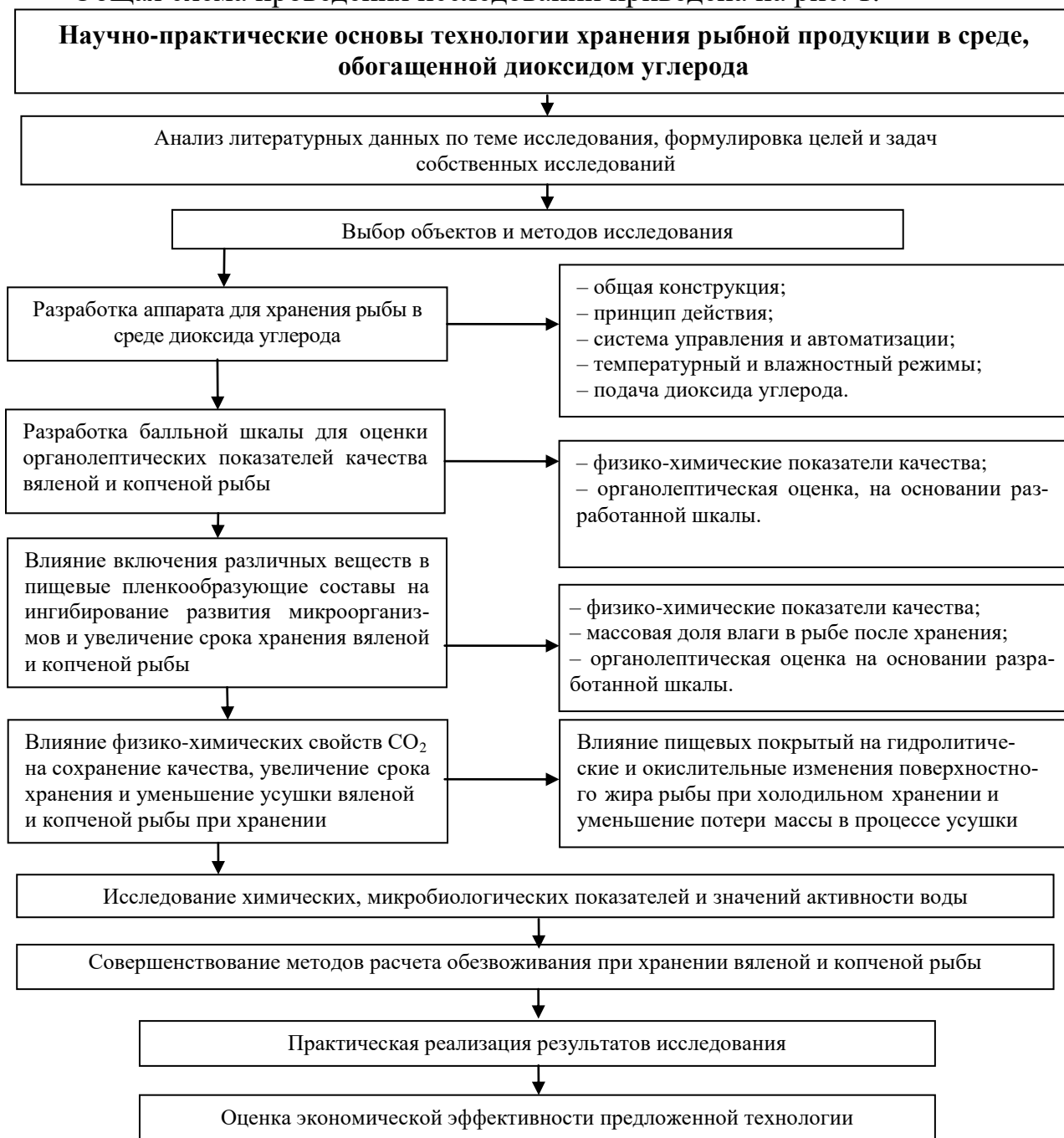


Рисунок 1 – Схема проведения исследований

На первом этапе для формирования цели и задач собственных исследований проведен анализ зарубежных и отечественных литературных данных, большее внимание уделено тем показателям, которые имеют наибольшие коэффициенты весомости, т. е. в большей степени влияют на удовлетворенность требований потребителей. В частности, необходимо прежде всего улучшать вкус, полезность, натуральность, обеспечивая сохранение исходных органолептических характеристик и высокую безопасность (микробиологическую чистоту). На ос-

новании выполненных исследований теоретически обоснована методология и проведена ее практическая реализация при разработке технологий. Научно обоснована целесообразность и практическая важность разработки нового подхода к обеспечению качества и безопасности, получены новые данные анализа рынка рыбной продукции.

На втором этапе основываясь на целесообразности и практической важности разработки, подобраны объекты и методы исследования. Разработан аппарат для хранения рыбы в среде диоксида углерода и проведены экспериментальные исследования на нем. Разработана балльная шкала для оценки органолептических показателей качества вяленой и копченой рыбы.

На третьем этапе работы исследовано влияние различных способов хранения на сохранность влаги в вяленой и копченой рыбе. Разработан состав, методика приготовления и нанесения покрытий на основе хитозана и моноглицерида. Разработана методика хранения вяленой и копченой рыбы в среде, обогащенной диоксидом углерода. Для всех рассмотренных методов проведена проверка микробиологических показателей и органолептическая оценка вяленой и копченой рыбы, а также изменения этих показателей в процессе хранения.

Практический этап исследований связан с внедрением результатов в производство путем разработки комплекта технической документации технологии хранения вяленой и копченой рыбы. Также проведена оценка экономической эффективности разработанных методов хранения вяленой и копченой рыбы с нанесенным на нее покрытием на основе хитозана, моноглицерида и в среде диоксида углерода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хранение объектов исследования в среде, обогащенной диоксидом углерода, осуществлялось в специально разработанном аппарате, представленном на рисунке 2.

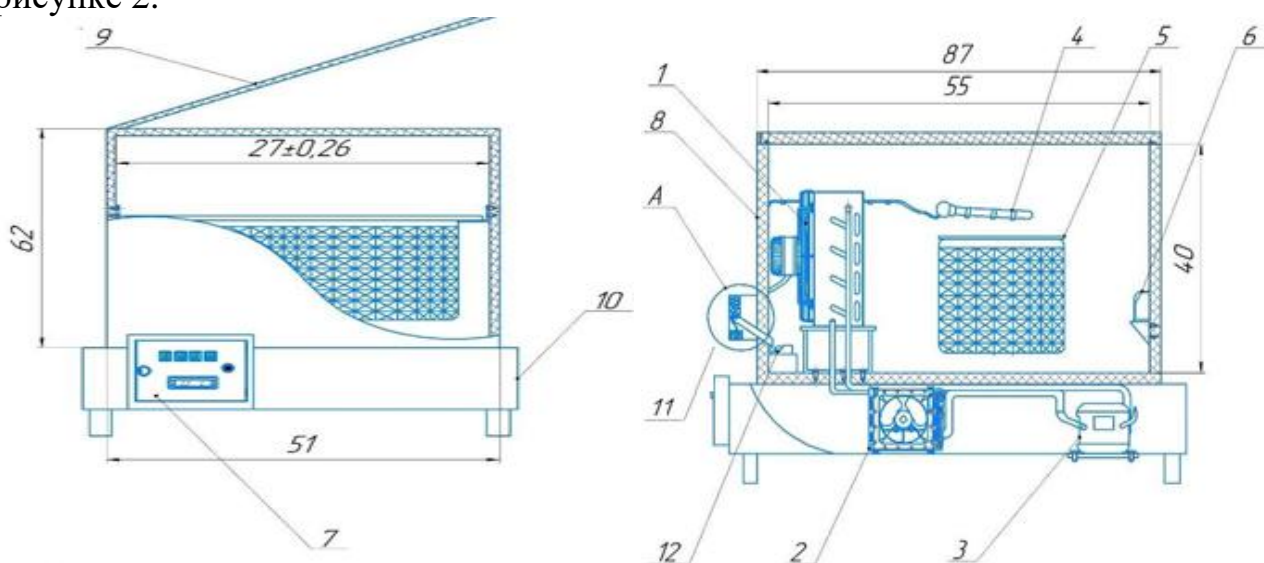


Рисунок 2 – Аппарат для хранения рыбной продукции

Аппарат способен обеспечить необходимые тепловлажностные режимы в рабочем объеме, а также создать и поддерживать газовую среду с заданной

концентрацией CO_2 . Аппарат состоит из неподвижной теплоизолированной камеры (8), воздухоохладителя (1), конденсатора (2), компрессора (3), терморегулирующего вентиля (11). Сверху аппарата установлена дверь (9). Рыба укладывается в решетчатый ящик (5), аппарат установлен на основании (10). Подача брикетированного снегообразного диоксида углерода (13) происходит в контейнер (12). В камере установлен измеритель концентрации углекислого газа (6). Термодатчик (4) подключен к контроллеру (7) для регулирования температуры в камере.

На рисунке 3 изображена схема устройства подачи твердого CO_2 в рабочий объем аппарата. Брикетированный CO_2 (1) из бункера (2) по желобу (4) поступает в камеру. Герметичность обеспечивается заслонкой (5), сигнал на ее открытие подается блоком управления (3).

Продолжительность сублимации сухого льда в зависимости от температуры, влажности, концентрации углекислого газа в воздушной среде, а также плотности прессованного CO_2 определялась экспериментально при атмосферном давлении и температуре 0 ± 2 °С. Исходная масса одного брикета диоксида углерода составляла 50 граммов.

График зависимости времени полной сублимации брикетированного сухого льда в потоке воздуха от массы представлен на рисунке 4.

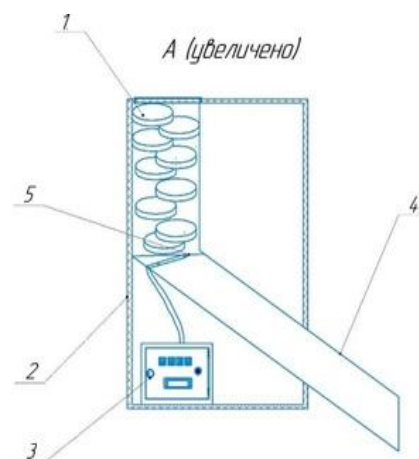


Рисунок 3 – Устройство подачи твердого CO_2 в рабочий объем аппарата

Исходя из полученных данных сублимация брикетированного CO_2 продолжается более 11 часов, причем повышение плотности брикетированной углекислоты уменьшает интенсивность сублимирования.

Так как процесс сублимации требует подвода тепла это приводит к образованию значительного температурного градиента между поверхностью и центром. Это обусловлено встречным направлением движения теплового и массового потоков. С целью

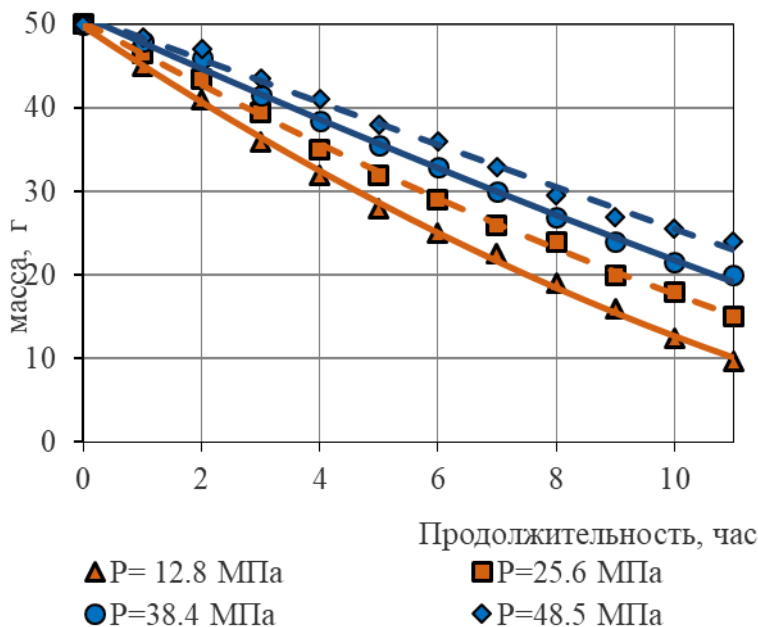


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности сублимации брикетированного CO_2 при различных давлениях прессования (от 12,8 до 45,9 МПа) сухого льда

снижения интенсивности сублимации твердого диоксида углерода необходимо уплотнить его.

Для проектирования технологического процесса, способного обеспечить работу аппарата в заданном температурном режиме на основании энергетического баланса, а также при условии квазистационарного процесса на границе фаз сухого льда и воздуха была разработана методика расчета продолжительности сублимации брикетированного снегообразного диоксида углерода. В результате были получены формулы (1) и (2).

$$\tau_{\text{кон}}^{\text{шар}} = \frac{2(\gamma_{\text{с.л}} \times 0.524)^{0.5} G_{\text{н}}^{0.5}}{\pi(J_{\text{к}} + J_{\text{л}})} \times \bar{I}^{0.5} \quad (1)$$

$$\tau_{\text{кон}}^{\text{цилиндр}} = \frac{(\gamma_{\text{с.л}})^{0.5} G_{\text{н}}^{0.5}}{3(J_{\text{к}} + J_{\text{л}})} \times \bar{I}^{0.5} \quad (2)$$

где, $\gamma_{\text{с.л}}$ – объемный вес сухого льда, кг/м³; $J_{\text{к}}$ – конвективный теплоотвод, Вт; $J_{\text{л}}$ – лучистый теплоподвод, Вт; $G_{\text{н}}$ – масса навеси, кг, \bar{I} – определяющий размер (средний за процесс).

Верификация полученных уравнений регрессии на базе эмпирических данных показала незначительные отклонения в пределах погрешности (при доверительной вероятности 95 %).

С помощью представленных выражений можно установить массу снегообразного CO₂, сформированного в шарообразные или цилиндрические брикеты, необходимого для создания модифицированной газовой среды в аппарате для хранения рыбной продукции, а также

задать временной интервал подачи брикетированного сухого льда в зону хранения в течение заданного промежутка времени.

На рисунке 5 изображены кривые, характеризующие зависимость концентрации диоксида углерода в рабочем объеме аппарата от продолжительности технологического процесса. Из полученных данных следует, что брикетированный диоксид углерода с заданными массогабаритными показателями брикета обеспечивает необходимую концентрацию диоксида углерода на

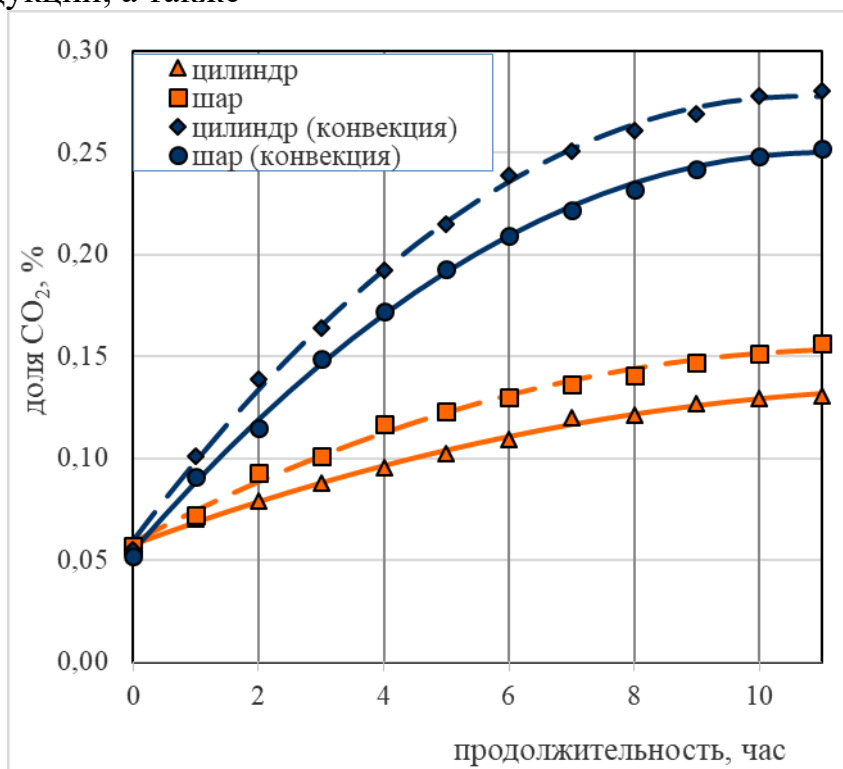


Рисунок 5 – Изменения концентрации брикетированного в виде цилиндра и шара диоксида углерода в рабочем объеме аппарата при естественной (оранжевый цвет) и вынужденной (синий цвет) конвекции

уровне более 0,1, что достаточно для создания модифицированной газовой среды в рабочем объеме аппарата. Кривые полученные экспериментально и при расчете представлены на рисунке 6.

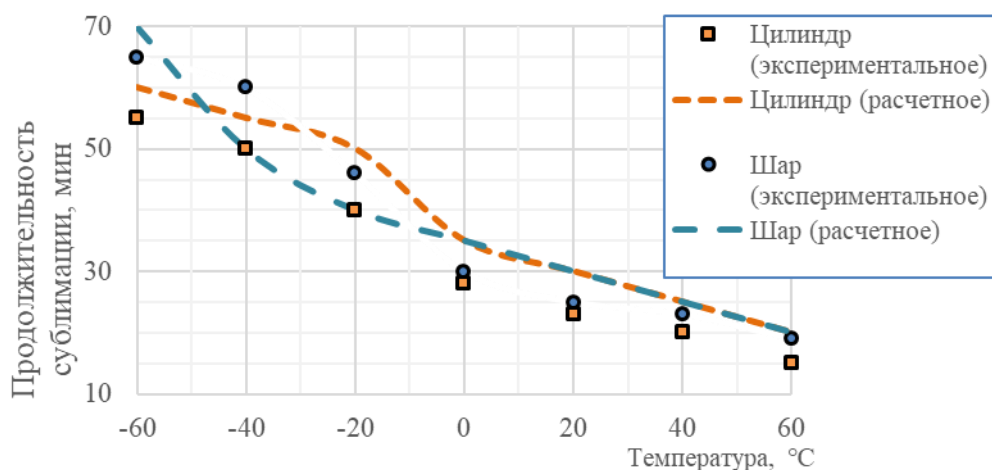


Рисунок 6 – Конечное время сублимации брикетированного снегообразного сухого льда в потоке воздуха в зависимости от температуры среды

Были проведены эксперименты по хранению вяленой рыбы в разработанном аппарате. Данные об объектах исследования и условиях проведения эксперимента, сформированных на основании норм технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные об объектах исследования и условиях проведения эксперимента (температура / продолжительность хранения: 0 ± 2 °C / 10 суток)

Объект исследования	Масса, кг	Массовая доля влаги, %	Массовая доля жира, %
Камбала вяленая	0,120±0,001	30	13
Камбала копченая		50	12
Лещ вяленый		25	10
Лещ копченый		45	15

Данные о динамике усушки и органолептические показатели контрольной партии вяленой и копченой рыбы представлены на рисунках 7 и 8.

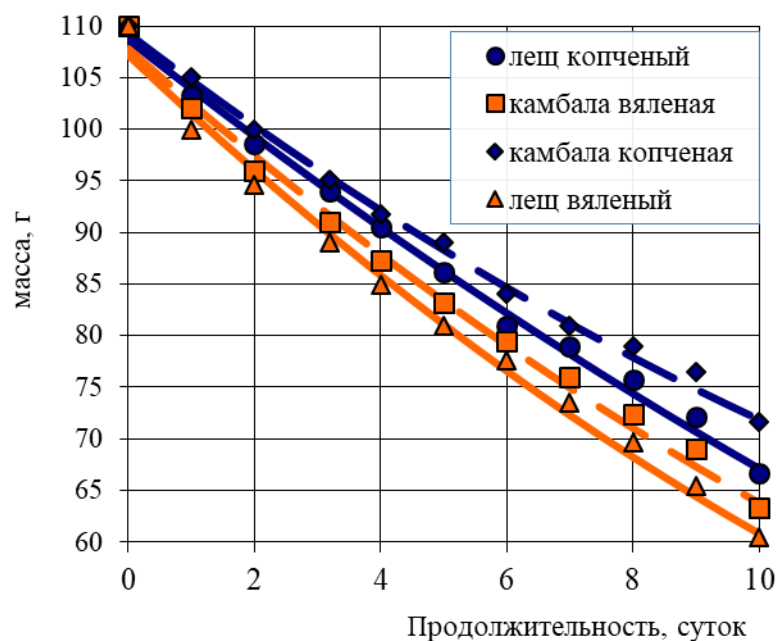


Рисунок 7 – Динамика изменения массы рыбы при традиционном способе хранения

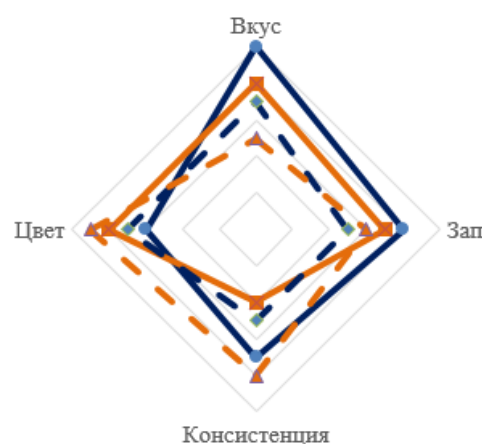


Рисунок 8 – Профилограмма органолептических показателей рыбы при традиционном способе хранения

В первые сутки, потеря массы составила 7 %. Это связано с доставкой влаги из внутренних слоев объекта исследований к поверхности, задействуются механизмы диффузии, скорость которой снижается по мере потери влаги. В последующий период 2 и 3 сутки усушка рыбы замедляется на поверхностном слое, и начинается процесс усушки воды во внутреннем слое рыбы, который связан с потерей прочно связанной воды. Профилограмма, представленная на рисунке 8, построена на основании разработанной описательной шкалы для вяленой и копченой рыбы с учетом коэффициентов весомости органолептических показателей для повышения объективности дегустационной оценки, имеющей балльную структуру. Суммарная балльная оценка товарного качества продукта составила 5,7 и 4,9 баллов для копченой и вяленой рыбы, соответственно.

Общий характер протекания процессов в вяленой рыбе аналогичен, однако значения кислотного и перекисного чисел липидов жира ниже на 20 %. Все исследуемые показатели соответствуют нормативной документации.

Исследовали влияние пищевого покрытия на основе хитозана на сохранность влаги, изменение показателей качества и физико-химических свойств вяленой и копченой рыбы. На рисунке 9 показана динамика изменения массы рыбы при хранении. Результаты органолептической оценки приведены на рисунке 10.

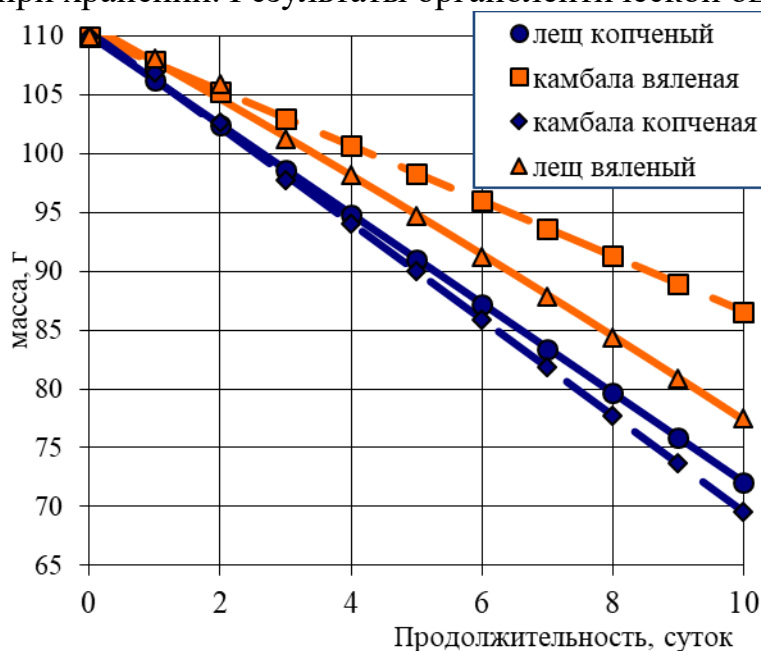


Рисунок 9 – Динамика изменения массы при хранении рыбы с покрытием на основе хитозана

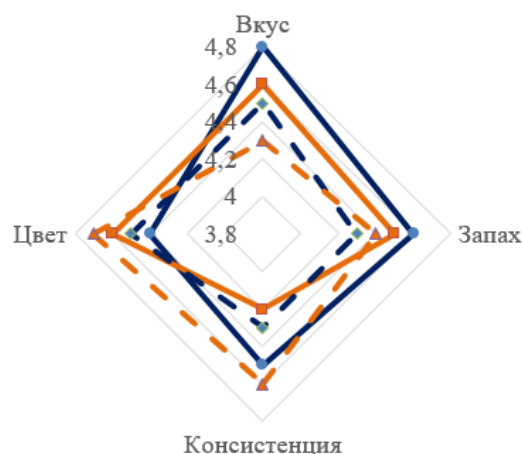


Рисунок 10 – Профилограмма органолептических показателей при хранении рыбы с покрытием на основе хитозана

Потери массы уменьшились на 10 %, по сравнению с контрольными образцами, и составили 5 % от общей массы рыбы.

Камбала как копченая, так и вяленая в первые сутки имела более высокую усушку (разница относительно потерь массы у леща 10 %), что связано с низким содержанием жира и высоким содержанием воды в поверхностных и внутренних слоях рыбы. Суммарная балльная оценка товарного качества рыбы составила 3,9.

Микробиологические показатели опытных партий рыбы, хранившейся с покрытием на основе хитозана, представлены в таблице 2.

Таблица – 2 Показатели безопасности вяленой и копченой рыбы

Определяемые показатели	Наименование партий, единицы измерения, неопределенность				Величина допустимого уровня, единицы измерения
	Рыба с покрытием на основе хитозана		Рыба с покрытием на основе моноглицерида		
	вяленая рыба	копченая рыба	вяленая рыба	копченая рыба	
КМА-ФАНМ, КОЕ/г	$0,6 \times 10^5$	$0,8 \times 10^5$	$0,8 \times 10^5$	$0,9 \times 10^5$	Не более $1,0 \times 10^5$
БГКП (ко-лиформы)	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	В 0,001 г не допускаются
Патогенная микрофлора (в т. ч. сальмонеллы)	В 25 г не обнаружены	В 25 г не обнаружены	В 25 г не обнаружены	В 25 г не обнаружены	В 25 г не допускаются
Listeria monocytogenes	–	не обнаружено	–	не обнаружено	В 25 г не допускаются
Плесени, КОЕ/г	3×10^1	4×10^1	4×10^1	4×10^1	Не более 5×10^1
Дрожжи, КОЕ/г	2×10^2	3×10^2	3×10^2	4×10^2	Не более 5×10^2

Применение данного способа для хранения рыбы на предприятиях торговли осложняется необходимостью приготовления покрытия и трудоемкостью его нанесения. В связи с этим было решено исследовать в качестве покрытия состав на основе моноглицерида и его влияние на усушку рыбы при холодильном хранении. Динамика изменения массы рыбы в процессе хранения приведена на рисунке 11. Исследования проводились с двумя видами сушено-вяленой и копченой рыбы – камбала и лещ. Поверхностный слой рыбы покрывался пищевой добавкой E471 (моноглицерид). Результаты показали, что использование покрытия на основе моноглицерида обеспечивает равномерную потерю массы в первые сутки эксперимента, не более 10 % у образцов копченой рыбы и не более 6 % – у вяленой. На 2-е и 3-и сутки эксперимента динамика потери массы снижается, она не превышает 3 %. В последующие дни эксперимента динамика потери массы была аналогична. Наблюдались изменения вкусовых качеств, что отмечено при проведении органолептической оценки. Это связано с тем, что свободные жирные кислоты, составляющие основу моноглицерида, окисляются быстрее, чем связанные, нарастание кислотного числа ускоряет процессы как химического, так и ферментативного окислительного прогоркания ненасыщенных жирных кислот. Снижение показателя «вкус» составило 5 пунктов для копченой рыбы и 3,5 – для вяленой. Данные представлены на рисунке 12.

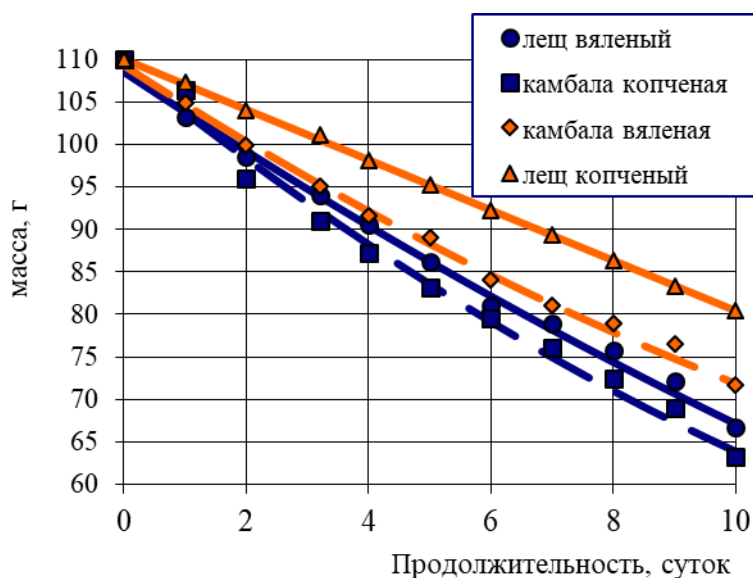


Рисунок 11 – Изменение массы при хранении рыбы с покрытием на основе моноглицерида

Снижение вкуса в этом варианте покрытия рыбы связано с тем, что моноглицерид является заменителем жиров животного происхождения, влияя на вкусовые показатели. Данные микробиологической оценки (таблица 3) подтверждают высокое санитарное состояние объекта. Обнаружено ухудшение в пределах нормы показателей КМАФАнМ и БГКП в сравнении с контрольным исследованием.

По окончании контрольного срока хранения обнаружили протеолитические изменения жиров. Значения кислотного и перекисного чисел представлены на рисунке 15. Установлено увеличение показателя КМАФАнМ у рыбы холодного копчения в конце срока хранения в 1,5 раза (1×10^2 КОЕ/г) по сравнению с аналогичным значением показателя в начале срока хранения. Для копченой рыбы рассматриваемый показатель увеличился в 4 раза (1×10^4 КОЕ/г), при допустимом значении 1×10^5 КОЕ/г. Увеличение количества колиформных бактерий при хранении рыбы холодного копчения в первую очередь связано с тем, что при холодном копчении рыба не проваривается полностью, а значит, присутствующие на рыбе бактерии не уничтожаются полностью. Кроме того, низкие температуры замедляют рост большинства бактерий, но они все же могут размножаться более медленными темпами, особенно если рыба хранится неправильно или если во время обработки или обращения с ней были нарушены правила безопасности пищевых продуктов. Плохая санитария, неподходящие условия хранения и длительное время хранения также могут способствовать росту колиформных бактерий и других видов вредных бактерий на рыбе холодного копчения.

Так как моноглицерид ухудшает вкусо-ароматические свойства продукта, а это может привести к снижению потребительского спроса, в рамках проводимых исследований было изучено влияние модифицированной газовой среды, обогащенной диоксидом углерода на динамику изменения качественных показателей, продолжительности хранения и усушку копченой и вяленой рыбы. Исследуемые образцы без покрытия хранились в модифицированной воздушной среде, обогащенной углекислым газом, массовая доля которого поддерживалась

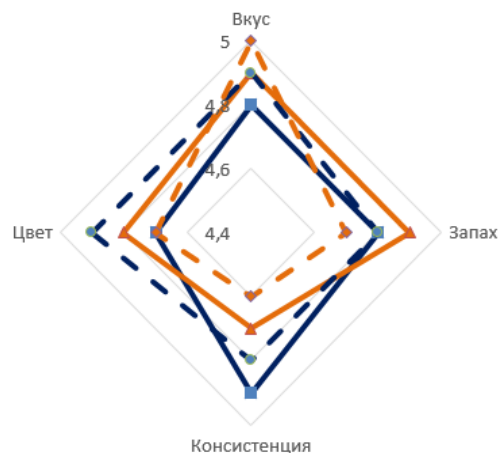


Рисунок 12 – Профилограмма органолептических показателей при хранении рыбы с покрытием на основе моноглицерида

в диапазоне от 1 до 2 % при температуре 0 ± 2 °С.

Графические зависимости массы исследуемых образцов от продолжительности хранения представлены на рисунке 13. Профилограмма органолептических показателей исследуемых образцов по окончании 10-суточного хранения представлена на рисунке 14.

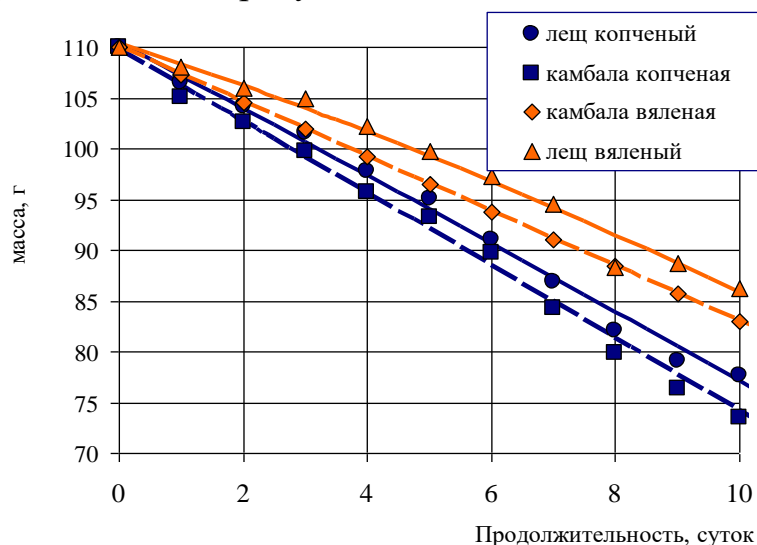


Рисунок 13 – Изменение массы рыбы при хранении с применением диоксида углерода

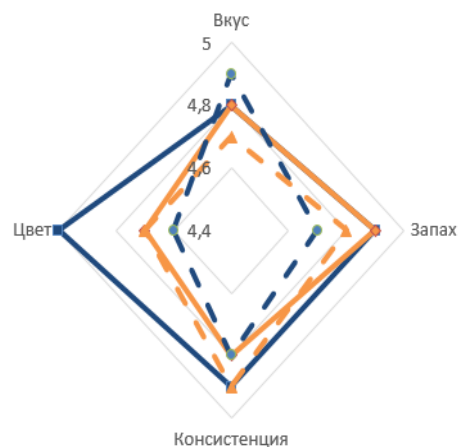


Рисунок 14 – Профилограмма органолептических показателей

Изучение потери массы вяленой и копченой рыбы после хранения в среде диоксида углерода показало, что в течение 10 суток хранения усушка камбалы составила 16,5 % от первоначальной массы. Масса леща уменьшилась на 18,7 %. Углекислый газ способствует образованию в тканях бикарбонатов и карбонат-ионов, которые связывают молекулы воды и замедляют гидролиз и окисление липидов, снижает вязкость жира и увеличивает вязкость воды, уменьшая подвижность воды по отношению к тканям. Он также нейтрализует микроорганизмы, увеличивая срок годности.

Использование CO_2 снижает усушку копченой рыбы на 15 % и вяленой рыбы на 10 %, по сравнению с другими вариантами, за счет создания газовой среды с массовой долей углекислого газа 0,1–0,2 %. Повышенная концентрация CO_2 на внешней поверхности рыбы снижает остаточное содержание кислорода в водной составляющей, взаимодействующей с поверхностными и внутренними слоями рыбы, что приводит к уменьшению содержания кислорода в связанной и свободной воде.

Показатели безопасности вяленой и копченой рыбы, хранившейся в среде диоксида углерода, представлены в таблице 3. Все исследуемые микробиологические показатели соответствуют нормам. Установлено снижение общего количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в среднем на 1–2 порядка в сравнении с контрольной партией. Из этого следует, что диоксид углерода подавляет рост и губительно действует на санитарно-показательные микроорганизмы, что способствует увеличению сроков хранения.

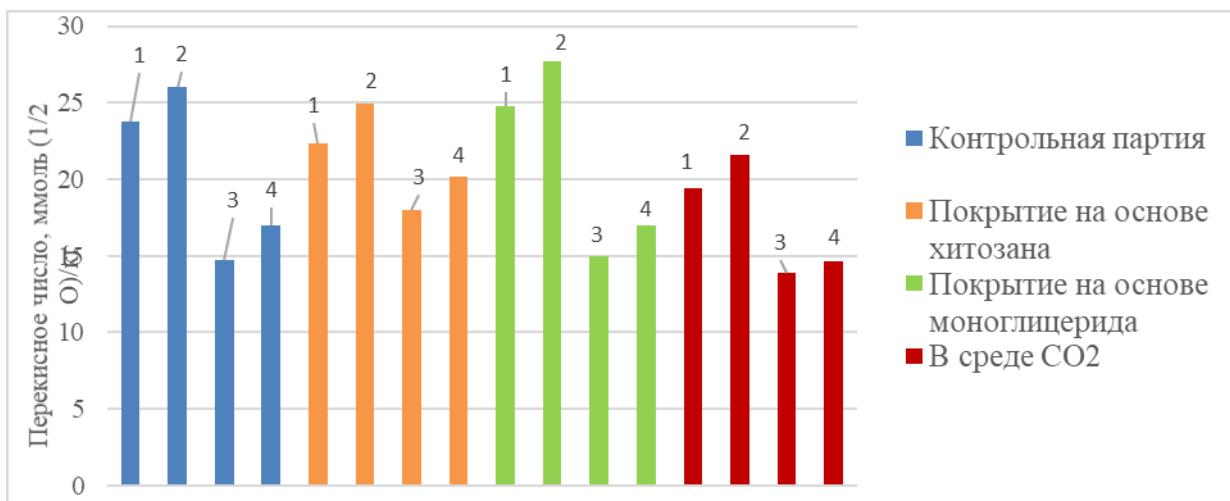


Рисунок 15 – Гистограмма значений перекисного числа
1 – лещ копченый; 2 – камбала копченая; 3 – лещ вяленый; 4 – камбала вяленая

Таблица – 3 Показатели безопасности вяленой и копченой рыбы

Определяемые показатели	Наименование партий, единицы измерения, неопределенность		Величина допустимого уровня, единицы измерения
	вяленая рыба	Копченая рыба	
КМАФАнМ, КОЕ/г	$0,4 \times 10^5$	$0,7 \times 10^5$	Не более $1,0 \times 10^5$
БГКП (колиформы)	не обнаружено	не обнаружено	В 0,001 г не допускаются
Патогенная микрофлора (в т. ч. сальмонеллы)	не обнаружено	не обнаружено	В 25 г не допускаются
Listeria monocytogenes	–	не обнаружено	В 25 г не допускаются
Плесени, КОЕ/г	$0,1 \times 10^1$	$0,5 \times 10^1$	Не более 5×10^1
Дрожжи, КОЕ/г	$0,3 \times 10^2$	$0,5 \times 10^2$	Не более 5×10^2

Была разработана методика расчета времени усушки, позволяющая установить время дегидрации в зависимости от условий хранения, что позволит определить срок реализации продукта, в течение которого производитель понесет минимальные убытки от усушки. Сводная кривая описывается уравнением (3), которая характеризует процессы холодильного хранения вяленой и копченой рыбы. Она позволяет определить изменение влажности рыбы в зависимости от времени и скорости движения воздушно-газовой среды в холодильной камере хранения.

Математически сводная кривая описывается следующим образом:

$$\omega_c = (\omega_{p1}k_1 \times \omega_{p2}k_2) \times 1.38 \times (1 + (\tau/\tau k_1)) \times (\tau/\tau k_2) - 0.30) \times 0.5, \quad (3)$$

где: ω_c – относительная влажность среды %; $\omega_{p1}k_1$ и $\omega_{p2}k_2$ – начальная и конечная влажность рыбы, отнесенная в процентном выражении к сухой массе, % для двух разных значений k ; τ – время, затрачиваемое на дегидрацию, час; k_1 и k_2 – безразмерные коэффициенты, которые учитывают характер режима хранения; 1.38 – константа, которая связывает конечную и начальную влажность рыбы; 0.5 – коэффи-

циент, который учитывает, что сушка происходит с двух сторон. Это уравнение может быть использовано для определения оптимальных параметров хранения вяленой и копченой рыбы.

Была разработана эффективная технология производства и хранения вяленой и копченой рыбы, схема которой представлена на рисунке 16.

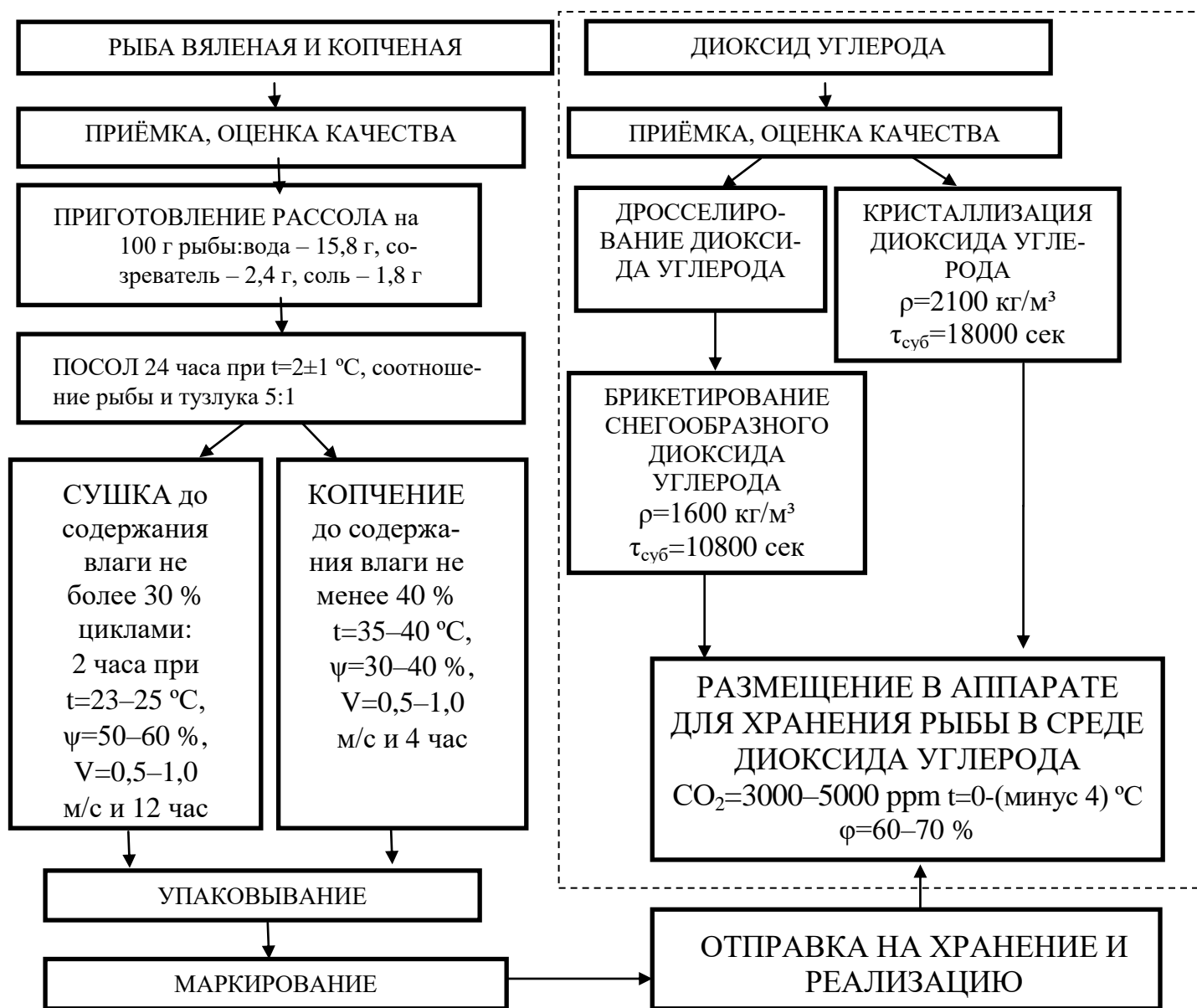


Рисунок 16 – Блок-схема практической реализации технологии хранения вяленой и копченой рыбы в среде CO₂

Также был определен срок окупаемости внедрения технологии хранения вяленой и копченой рыбы с применением CO₂, с учетом затрат на модернизацию оборудования для холодильного хранения, подтвердивший перспективность применения диоксида углерода. По результатам экономического расчета установлено, что срок окупаемости внедрения метода хранения вяленой и копченой рыбы с применением диоксида углерода составит 2 месяца. После этого периода выгода будет превышать отметку в 30 рублей с одного килограмма вяленой и копченой рыбы в сутки при входной стоимости продукции от 300 до 500 рублей за 1 кг. Испытания на производстве осуществлялись в ООО «Алинкино», ООО

«Иноватор» и ООО «Технохолд» Кемеровской области. Проведенные производственные испытания показали рациональность, эффективность и перспективность внедрения предложенных методик.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения продолжительности сублимации прессованного снегообразного сухого льда и составлено ее математическое описание. Составлен тепловой баланс для расчета времени сублимации квазистационарного процесса на границе фаз сухого льда и воздуха.

2. Разработана балльная шкала для многофакторной органолептической оценки качества вяленой и копченой рыбы, выявлены закономерности изменения микробиологических показателей безопасности вяленой и копченой рыбы.

3. Исследовано влияние различных видов пищевых покрытий и режимов хранения вяленой и копченой рыбы на потери влаги, изменение качества и физико-химических свойств. Установлено, что применение покрытий позволяет снизить усушку вяленой и копченой рыбы на 7–10 % при увеличении продолжительности хранения на 10–15 %. Потери массы снижаются на 25–30 %, продолжительность хранения увеличивается в 1,5 раза. Все исследуемые микробиологические показатели соответствуют нормам. Установлено снижение общего количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в сравнении с контрольной партией при использовании диоксида углерода.

4. Научно обоснована технология хранения вяленой и копченой рыбы при различных температурных режимах, в среде диоксида углерода. Предложена математическая модель влагопотери в процессах хранения вяленой и копченой рыбы при различных технологических режимах.

5. Разработана и утверждена техническая документация на способы хранения вяленой и копченой рыбы в среде диоксида углерода.

6. Произведены испытания предложенной технологии в условиях промышленного предприятия. Проведена производственная проверка усовершенствованной технологии хранения вяленой и копченой рыбы на предприятиях ООО «Алинкино»; ООО «Иноватор»; ООО «Технохолд». По результатам экономического расчета установлено, что срок окупаемости внедрения метода хранения вяленой и копченой рыбы с применением диоксида углерода составит 2 месяца. После этого периода выгода будет превышать отметку в 30 рублей с одного килограмма вяленой и копченой рыбы за период хранения.

Список публикаций по теме:

В изданиях, индексируемых в международных базах SCOPUS и Web of Science:

1. Neverov, E. N. The method of carbon-dioxide recovery in fish-processing industry / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, **P. S. Korotkih**, L. V. Lifenceva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions. 2019. C. 012039.
2. Neverov, E. N. Methods of air-cured and dried fish storage technique improvement / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya, **P. S. Korotkih**, E. D. Fedorov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. C. 62029.
3. Neverov, E. N. To the question of disposal and recycling carbon dioxide / E. N. Neverov,

I. A. Korotkiy, **P. S. Korotkih**, R. U. Skhaplok, I. A. Prib // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 720, 112 April 2021 № 0120422021 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTC EarthScience 2021, 25 January 2021 – 26 January 2021.

В периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

4. Неверов Е. Н. Методы совершенствования технологии хранения сушено-вяленой рыбы / Е. Н. Неверов, О. В. Салищева, **П. С. Коротких** // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3 (144). С. 175–181.
5. Неверов, Е. Н. Исследование процесса теплообмена при охлаждении форели с применением диоксида углерода / Е. Н. Неверов, **П. С. Коротких** // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 3. С. 383–389.
6. Неверов, Е. Н. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода / И. А. Короткий, И. Б. Плотников, **П. С. Коротких**, А. А. Кожаев // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6 (159). С. 215–222.
7. Неверов, Е. Н. Применение диоксида углерода для холодильной обработки мяса с высоким содержанием белка / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, **П. С. Коротких**, А. Н. Гринюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 281–288.
8. Неверов, Е. Н. Исследование влияния диоксида углерода на снижение потери влаги при холодильном хранении копченой рыбы / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, **П. С. Коротких**, О. А. Неверова, Л. А. Проскуракова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63).

Материалы в сборниках научных трудов, журналах, материалах конференций:

9. **Коротких, П. С.** Практические исследования по совершенствованию методов хранения вяленой рыбы / П. С. Коротких Е. Н. Неверов, А. М. Ухин // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы III Международной научной конференции / под общей редакцией С. В. Беспаловой. Донецк, 2018. С. 237–240.
10. **Коротких, П. С.** Разработка технологии охлаждения форели с применением диоксида углерода / П. С. Коротких // Россия – Азия – Африка – Латинская Америка: экономика взаимного доверия: материалы X Евразийского экономического форума молодежи: в 3 томах. Екатеринбург, 2019. С. 123–125.
11. Ухин, А. М. Способ хранения вяленой и копченой рыбы в среде CO₂ / А. М. Ухин, **П. С. Коротких** // Холодильная техника и биотехнологии: сборник тезисов I Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Кемерово, 2019. С. 231–233.
12. Короткий, И. А. Экономический анализ установок экстракции углекислым газом / И. А. Короткий, **П. С. Коротких** // Холодильная техника и биотехнологии: сборник тезисов II национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Кемерово, 2020. С. 163–164.
13. Неверов, Е. Н. К вопросу о утилизации и переработке углекислого газа / Е. Н. Неверов, **П. С. Коротких**, Р. Ю. Схаплок // Холодильная техника и биотехнологии: сборник тезисов II национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Кемерово, 2020. С. 48–50.
14. Неверов, Е. Н. Рециркуляционная углекислотная холодильная установка / Е. Н. Неверов, **П. С. Коротких**, И. А. Приб // Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом: сборник тезисов III Международной конференции (Кемерово, 15 ноября 2021 года) / под общей редакцией О. В. Козловой. – Кемерово, 2021.

Патенты на изобретения:

15. Патент № 2728222 РФ, МПК А23В 4/00 (2006.01). Способ хранения вяленой и копченой рыбы в среде диоксида углерода: заявл. 17.12.2019; опубл. 28.07.2020. Бюл. № 22 / Неверов Е. Н., Ухин А. М., Короткий И. А., **Коротких П. С.**
16. Патент № 2723500 РФ, МПК В65D 88/74 (2006.01). Установка для транспортировки продуктов в среде диоксида углерода (2 варианта): заявл. 21.05.2019; опубл. 11.06.2020. Бюл. № 17 / Неверов Е. Н., Шаповалов А. Г., **Коротких П. С.**, Плотников И. Б.