

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)



На правах рукописи

ДАМБАРОВИЧ ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИРА
ИЗ ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО
ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОДУКТАХ**

4.3.5 Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Агафонова Светлана Викторовна

Калининград – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1 Рыбные жиры: сырьевые источники, характеристика	12
1.1.1 Анализ биотехнологического потенциала рыбных жиров	14
1.1.2 Роль полиненасыщенных жирных кислот в поддержании здоровья человека	16
1.2 Методы получения рыбного жира.....	25
1.3 Проблемы безопасности рыбных жиров из различных сырьевых источников	29
1.3.1 Перекисное окисление липидов	29
1.3.2 Аспекты безопасности при получении жиров из копченого рыбного сырья	34
1.4 Актуальные направления применения пищевых рыбных жиров	38
1.4.1 Рыбные жиры в качестве компонентов пищевой продукции	38
1.4.2 Рыбные жиры в технических продуктах	42
Заключение по обзору литературы.....	48
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
2.1 Схема исследований	50
2.2 Объекты исследования	50
2.3 Методы исследования.....	53
2.3.1 Анализ рыбного сырья и оптимизация процесса выделения жира	53
2.3.2 Адсорбционная очистка жира из копченого рыбного сырья	58
2.3.3 Исследование показателей качества, безопасности и физиологической эффективности рыбных жиров.....	59
2.3.4 Получение и исследование качества эмульсионного соуса, обогащенного жиром из вторичного рыбного сырья.....	63
2.3.5 Получение и исследование показателей качества биодизеля	67
2.3.6 Статистическая обработка результатов исследований	69
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	70
3.1 Обоснование выбора вторичного жиросодержащего рыбного сырья.....	70
3.2 Обоснование технологических режимов ферментативного гидролиза рыбного сырья.....	72
3.3 Обоснование направления жиров, полученных биотехнологическим способом, на пищевые и технические цели	82

3.4 Адсорбционная очистка жира, полученного из вторичного копченого рыбного сырья.....	84
3.5 Технологическая схема получения жира из вторичного рыбного сырья.....	85
3.6 Показатели качества и безопасности жиров из вторичного рыбного сырья ..	88
3.7 Получение эмульсионного соуса, обогащенного жиром из вторичного рыбного сырья	96
3.7.1 Оптимизация рецептуры эмульсионного соуса.....	96
3.7.2 Технологическая схема получения эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром.....	102
3.7.3 Исследование хранимостпособности эмульсионного соуса «Омега»	106
3.7.4 Характеристика готового продукта	111
3.8 Получение биодизеля на основе рыбного жира технического назначения ...	117
4 ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	125
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
Приложение А Патент на изобретение № 2809512.....	155
Приложение Б ТУ 10.20.42-035-00471544-2024.....	156
Приложение В Шкала органолептической оценки	157
Приложение Г ТИ к ТУ 10.41.12.110-036000471544-2024.....	159
Приложение Д ТУ 10.41.12.110-036000471544-2024.....	160
Приложение Е Протокол испытаний № 3528ПК	161
Приложение Ж Протокол испытаний № 3528/1ПК	163
Приложение И ТИ к ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024	165
Приложение К ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024.....	166
Приложение Л ТИ к ТУ 20.59.59-001-00471544-2024	167
Приложение М ТУ 20.59.59-001-00471544-2024.....	168
Приложение Н Акт производственных испытаний по выпуску эмульсионного продукта.....	169
Приложение П Расчет экономической эффективности технологии производства эмульсионного соуса «Омега»	170
Приложение Р Акт производственных испытаний по выпуску биодизеля	178
Приложение С Расчет экономической эффективности технологии производства биодизеля.....	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время актуальным является вопрос по переработке побочных продуктов, образующихся в процессе производства рыбной продукции. К такому побочному сырью можно отнести головы, хребты, чешую, кожу, внутренние органы, гонады и другие несъедобные части тела рыб.

На территории Калининградской области насчитывается около 35 действующих предприятий по производству рыбной продукции. Количество перерабатываемых отходов также достигает больших объемов и варьируется в зависимости от вида самого сырья.

Например, такие рыбные объекты как балтийская килька (лат. *Sprattus sprattus balticus*) и скумбрия атлантическая (лат. *Scomber scombrus*) занимают немалый объем в сырьевой базе производства рыбных изделий, количество их отходов превышает 12 тонн в сутки.

Химический состав вторичного сырья включает большое количество нутриентов в виде белков, жиров, гликопротеидов, ферментов, макро- и микроэлементов и т.д., позволяя тем самым использовать сырьё в производстве биологически активных добавок (БАД), пищевой, кормовой, технической продукции.

Одной из преобладающих частей по химическому составу вторичного рыбного сырья являются липиды. Использование вторичного рыбного сырья с большим содержанием липидов представляет проблему для рыбоперерабатывающей отрасли. Это связано с лабильностью входящих в состав липидов рыбного сырья высоконенасыщенных жирных кислот. Представленные в большой степени полиненасыщенными жирными кислотами, в том числе, омега-3 ряда (альфа-линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая кислоты), липиды рыб, безусловно, представляют большой интерес для разработки на их основе биологически активных добавок и функциональных

продуктов питания – источников эссенциальных жирных кислот. В то же время, высокая подверженность окислительной порче приводит к необходимости разработки комплексных технологий переработки жиросодержащих рыбных отходов, позволяющих использовать как удовлетворяющие требованиям для пищевой продукции жиры (для производства продукции пищевого назначения), так и жиры с активно протекающими гидролитическими и окислительными процессами (для производства продукции технического назначения).

Параметры извлечения жира различаются для разных видов рыбного сырья и во многом определяют качество жира как сырья для дальнейшей переработки. В связи с этим обоснование режимов извлечения жира для отходов, получаемых из термообработанного и нетермообработанного сырья, сырья различной степени свежести, является актуальным направлением исследований в данной области.

Степень разработанности темы исследования.

Исследования, направленные на изучение качества рыбного жира из вторичного рыбного и его рациональное использование, освещены такими авторами, как Агафонова С.В., Артемова А.Г., Артюхова С.А., Байдалинова Л.С., Боева Н.П., Бредихина О.В., Ворслов Л.О., Гропянов Д.А., Громова О.А., Добриян Е.И., Запорожская Л.И., Зайцева М.И., Сафронова Т.М., Скрябина Н.М., Макарова С.Г., Мезенова О.Я., Исаев В.А., Красковская К.А., Кузнецов Ю.Н., Колупаева Е.А., Николаева С.В., Петров Б.Ф., Плотникова Е.Ю., Ржавская Ф.М., Сытова М.В., Трухин Н.В., Тохириён Б., Хелинг А., Цибизова Д.А., Швейкина К.С., Шишкина А.И., Шульгина Л.В., Ascheiro A., Báez R.V., Calder P.C., Catapano A.L., Chitranjali T., Ewa. S.W., Ferguson J.F., González F.E., Haddock C.K., Harris W.S., Lehner A., Mulvey C.K., Miles E.A., Neuhofer A., Patel P.N., Poston W.C., Quang V., Riedel S.L., Svahn S.L., Tedeschi S.K., Tomasz W., Yates C.M. и др.

Однако биотехнологический способ извлечения жира из различного вторичного рыбного сырья, в зависимости от его вида (копченое, свежее, термообработанное и др.), а также вида фермента, и обоснование использования жира на пищевые или технические цели изучены мало.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является научное обоснование технологии получения жира из вторичного рыбного сырья Калининградской области биотехнологическим способом и его применения в пищевых и технических продуктах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ современной научно-технической и патентной литературы для выявления основных направлений в технологии извлечения и применения липидов рыб;
2. Обосновать применение вторичного сырья атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки для извлечения жира и классифицировать его на основе показателей качества;
3. Получить математические модели процесса ферментации, оптимизировать значения его основных факторов и обосновать технологию получения жира из вторичного рыбного сырья с использованием коммерческих ферментных препаратов протеолитического действия;
4. Обосновать снижение содержания полициклических ароматических углеводов в жире из копченого рыбного сырья с помощью адсорбционной очистки;
5. Исследовать жирнокислотный состав, показатели качества, безопасности и физиологической эффективности полученных рыбных жиров;
6. Обосновать состав эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, технологию его получения, показатели качества, хранимospособности и функциональности;

7. Обосновать технологическую схему получения биодизеля на основе жира пониженного качества из вторичного рыбного сырья и оценить показатели его качества;

8. Разработать техническую документацию на вторичное жиросодержащее рыбное сырье и получаемые из него продукты пищевого и технического назначения;

9. Апробировать технологию получения эмульсионного соуса и биодизеля в производственных условиях и обосновать экономическую эффективность технологий.

Научная новизна. Впервые научно обоснованы режимы ферментативного способа извлечения рыбного жира из наиболее массового жиросодержащего вторичного рыбного сырья Калининградской области различных способов предварительной технологической обработки – голов и хребтов атлантической скумбрии (натуральное сырье) и голов копченой балтийской кильки (термообработанное сырье). Установлены математические зависимости степени ферментативного извлечения жира и уровня его окислительных изменений для различных видов рыбного сырья и ферментов, на основании которых оптимизированы режимы ферментативной экстракции. Показана эффективность применения адсорбционной очистки активированным углем в снижении содержания полициклических ароматических углеводородов в жире из голов копченой кильки до пищевого уровня. Предложено дифференцирование полученных жиров с учетом критериальных регламентированных показателей безопасности. Обоснована технологическая схема получения биотехнологическим способом жиров пищевого и технического назначения. Установлены показатели физиологической эффективности жиров пищевого назначения, свидетельствующие об их высоком кардиопротекторном потенциале. Оптимизирована рецептура и разработана технология эмульсионного соуса функциональной направленности, обогащенного рыбными жирами пищевого назначения. Обосновано применение жира технического назначе-

ния в технологии биодизеля, соответствующего по основным показателям требованиям действующей документации. Новизна исследования подтверждена патентом RU № 2809512С1.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования позволяют расширить имеющиеся знания в переработке вторичного жиросодержащего рыбного сырья биотехнологическим способом. Разработаны технологии получения жира пищевого и технического назначения и его использования в производстве функциональной соусной продукции и топливного биодизеля. Предложена эффективная схема очищения жира из копченых рыбных отходов от полициклических ароматических углеводородов.

Технология эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, успешно апробирована в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» (п. Котельниково Калининградской области). Получение биодизеля из жира вторичного рыбного сырья технического назначения подтверждено в производственных испытаниях в ООО «Биотех» (г. Калининград).

На биотехнологию, исходное сырье и целевые продукты разработан пакет технической документации: ТУ 10.20.42-035-00471544-2024 «Субпродукты рыбы жиросодержащие»; ТУ и ТИ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения»; ТУ и ТИ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»; ТУ и ТИ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира». Показана экономическая эффективность разработанных технологий, позволяющая полезно использовать липидный ресурс рыбных отходов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ» в пунктах 7, 15, 20, 25, 29.

Методология и методы исследования. Методология исследований направлена на углубление научных знаний в области производства и исполь-

зования жиров из вторичного рыбного сырья. Используются современные физико-химические, микробиологические методы исследования (стандартные, общепринятые и оригинальные), методы математического моделирования, статистической обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- режимы биотехнологического способа получения из вторичного рыбного сырья жиров пищевого и технического назначения с применением протеолитических ферментов;
- способ адсорбционного снижения содержания полициклических ароматических углеводородов в жире из вторичного копченого рыбного сырья до пищевого уровня;
- показатели качества, физиологической эффективности и безопасности рыбных жиров, ферментативно извлеченных из вторичного рыбного сырья;
- технологии эмульсионного соуса функционального уровня качества и топливного биодизеля с использованием полученных рыбных жиров пищевого и технического назначения.

Степень достоверности результатов и апробация работы. Степень достоверности полученных результатов подтверждена применением современных методов анализа, воспроизводимостью научных экспериментов с получением повторных данных, обработкой результатов исследований с применением математических и статистических методик.

Материалы представленных в диссертации исследований апробированы на 9 научных конференциях различного уровня: VII и IX Международные НПК «Пищевая и морская биотехнология» в рамках VI и VIII Международного «Балтийского морского форума» (Калининград, 2018, 2020 гг.); Межвузовская научно-техническая конференция студентов и курсантов «Дни науки» (Калининград, 2018 г.); VI Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов «Пищевые техноло-

гии и биотехнологии» (Казань, 2019 г.); I Международная НПК, посвященная Году науки и технологий «Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг» (Керчь, 2021 г.); IV Национальная НПК «Актуальные проблемы техники, технологии и образования» (Керчь, 2023 г.); XII и XIII Национальные НПК «Пищевая и морская биотехнология» в рамках XI и XII Международного «Балтийского морского форума» (Калининград, 2023, 2024 гг.); Международная НПК, посвященная 20-летию Технологического института, «Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты, технологии» (Москва, 2024 г.).

Исследования выполнены в рамках инициативной ГБ НИР ФГБОУ ВО «КГТУ» по теме 30.36.100.2 «Разработка и совершенствование технологии пищевых продуктов повышенной пищевой ценности» (2020 – 2024 гг.) и по договору с СО РАН ИБФ № 5/ИБФ/23 от 27.06.2023 (г. Красноярск) в качестве соисполнителя гранта РФФИ № 23-64-10007.

Личный вклад автора в 2020-2024 гг. заключался в формулировании цели и задач исследовательской работы, разработке схемы и подборе методов исследований, проведении экспериментов и производственных испытаний, в анализе результатов, подготовке публикаций по исследованиям, написании автореферата и диссертации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 6 – в научных журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ. Получен 1 патент RU № 2809512С1 «Способ получения рыбного жира из вторичного копченого рыбного сырья».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы, включающего 179 источников, в том числе 70 иностранных. Работа изложена на 188 страницах текста, содержит 45 таблиц, 18 рисунков, 15 приложений.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, канд. техн. наук, доценту, доценту кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ» Агафоновой Светлане Викторовне за помощь и поддержку на всех этапах проведения исследований и написания диссертационной работы.

Особая благодарность сотрудникам кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ», в особенности заведующей кафедрой, д-ру техн. наук, профессору Мезеновой Ольге Яковлевне.

Автор выражает благодарность генеральному директору научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия), д-ру естественных наук Йоргу-Томасу Мёрзелю и директору ООО «Калининградский испытательный центр», канд. техн. наук Чернышевой Наталье Леонидовне за ряд проведенных исследований.

Искренняя благодарность главному технологу ООО «Восходящая Звезда» Скуловой Марине Ивановне и генеральному директору ООО «Биотех» Волкову Владимиру Владимировичу за помощь в проведении производственных испытаний.

Автор благодарит аспиранта кафедры пищевой биотехнологии Позднякову Дарью Александровну за помощь в определении показателей качества биотоплива.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Рыбные жиры: сырьевые источники, характеристика

Рыбный жир – это липидная фракция, выделяемая из рыбного сырья. Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), содержащиеся в рыбном жире, играют важную роль в питании человека, и спрос на высококачественный рыбный жир растет из-за многочисленных исследований, подтверждающих его полезные для человека свойства [14]. Основными веществами, обуславливающими полезные свойства рыбного жира, являются полиненасыщенные кислоты омега-3 (α -линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая кислоты), витамины Е, А, Д [22, 53, 90, 110].

Термин «рыбий жир» используется в научной литературе как фармакологическое название медицинского жира, получаемого исключительно из печени рыб, богатой ПНЖК (тресковых, скумбрии, лосося и др.). Жир, получаемый из мышечной ткани, голов, хребтов рыб, называется «рыбным», он содержит меньшие количества витамина Д, однако, характеризуется большим содержанием длинноцепочечных омега-3 жирных кислот, имеет более благоприятные органолептические характеристики [10, 14, 93].

Рыбный жир состоит преимущественно из триацилглицеридов, большую часть которых составляют олеиновая (около 40 %) пальмитиновая (25 %) кислоты, полиненасыщенные жирные кислоты (эйкозапентаеновая кислота, докозагексаеновая кислота, линолевая и др.) составляют около 24 %, стеариновая кислота – 1-2 %. Присутствуют в малых количествах такие кислоты как масляная, валериановая, декановая кислота, уксусная и другие. Также присутствуют химические элементы йод, бром, фосфор и сера [10, 53, 93].

Многие виды морских пелагических рыб, жир которых накапливает наибольшее количество полиненасыщенных жирных кислот омега-3, являются ценным пищевым сырьем и используются для изготовления деликатес-

ной продукции; сельдь, лососёвые (кета, нерка, чавыча, кижуч, сёмга), скумбрия и сардины [7, 10, 11, 14, 15].

Актуальным видится получение жира из недовостребованного жиросодержащего вторичного рыбного сырья – (головы, гонады, плавники, хребты, кожа, чешуя и т.д.) и его полезное использование. В процессе производства рыбной продукции количество отходов достигает 50 % от общей массы сырья, часто такие отходы представляют проблемы для рыбоперерабатывающих предприятий в плане их утилизации. Рыбный жир-сырец, полученный из таких отходов, часто не уступает по качественным характеристикам жиру, полученному из мышечной ткани рыб [13, 35, 36, 67, 68, 122], поэтому его рационально использовать в пищевых целях. В связи с высокой склонностью жира из рыбных отходов к порче и быстрой потере качества и пищевой безопасности, целесообразно также использовать его биопотенциал в технических целях.

Содержания жира во вторичном рыбном сырье не всегда постоянно и зависит от множества факторов – времени года вылова, район вылова, питания рыбы, возраста и др. Средние значения содержания жира в некоторых видах вторичного рыбного сырья представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Содержание жира во вторичном рыбном сырье [13, 16, 35]

Сырье	Среднее содержание жира, %
Головы сардины	9,8-14,9
Головы сардинеллы	14,8-16,3
Головы кильки горячего копчения	15,8-28,4
Головы скумбрии	20,3-23,7
Хребты скумбрии	18,8-20,1
Головы и хребты сельди	15,7-18,5
Головы ставриды	9,8-12,6
Головы корефины	19,3-22,2
Головы лосося атлантического	15,2-18,7
Головы кеты	14,3-16,6
Головы горбуши	13,5-17,8

Например, печень трески содержит около 43,8 % омега-3 ПНЖК, включая 18,8-19,4 % эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК) и 19,1-19,6 % докозагексаеновой кислоты (ДГК). Содержание омега-3 жирных кислот находится на высоких уровнях в печени пикши (48 % омега-3, в том числе 26,7 % ЭПК и 18,9 % ДГК), путассу (13,5 % ЭПК), амурского осетра (8 % суммарного содержания ЭПК и ДГК) [12, 13,14, 16, 124].

Таким образом, жиросодержащее вторичное рыбное сырье является ценным сырьевым источником рыбного жира, который целесообразно извлекать и использовать в зависимости от его состава, показателей качества и безопасности.

1.1.1 Анализ биотехнологического потенциала рыбных жиров

Ненасыщенная природа рыбного жира и высокое содержание в нем омега-3 (альфа-линоленовой (АЛК), ЭПК, докозапентаеновой, ДГК) и омега-6 жирных кислот (ЛК, гамма-линоленовой (ГЛК), дигомо-гамма-линоленовой, арахидоновой (АРК)) определяют его потенциал как компонента лечебно-профилактического питания.

Полиненасыщенные жирные кислоты, в особенности ЭПК, ДГК и АЛК, практически не синтезируются в организме человека, в котором отсутствуют ферменты десатуразы, отвечающие за встраивание двойных связей в молекулы жирных кислот. Десатуразы наиболее активно функционируют в высших растениях и водорослях, позволяя им накапливать омега-3 и омега-6 полиненасыщенные жирные кислоты в значительных количествах. Таким образом, многие полиненасыщенные жирные кислоты являются так называемыми эссенциальными факторами питания, поскольку пища является практически единственным путем восполнения их дефицита [14, 53, 111, 115, 126, 136].

Поддержание правильного баланса омега-3 и омега-6 жирных кислот в организме важно для здоровья человека, особое внимание необходимо уде-

лять соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, которое должно составлять 1:5-10 [29, 30, 53]. Потребление таких важных омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, как ЭПК, ДГК, АЛК, нормируется отдельно. Рекомендуется ежедневно потреблять от 0,2 до 0,5 г ЭПК и ДГК и 1 г АЛК [27, 28, 53, 100].

Классический рацион среднестатистического человека редко нуждается в дополнительном обогащении полиненасыщенными жирными кислотами омега-6. Омега-6, в частности ЛК, богаты растительные масла, к примеру, подсолнечное масло содержит 62 % ЛК, соевое – 51 %, рапсовое – 21 %. Животные жиры также содержат омега-6: в свином жире содержится 14,2 % ЛК и 2,2 % АРК, в курином – 17,0 % ЛК и 4,7 % АРК [66].

Удовлетворить потребность человека в омега-3 сложнее. Ежедневно в среднем человек потребляет всего 0,11 г омега-3. Богаты омега-3 некоторые растительные масла: льняное (57 % АЛК), конопляное (55 % АЛК), масло виноградных косточек (67 % АЛК). Эссенциальные жирные кислоты ЭПК и ДГК не содержатся в растительных источниках, их можно получить только из рыбы, морепродуктов, водорослей [30].

Высокие уровни ЭПК и ДГК характерны для жира рыб семейства лососевых, сельдевых, скумбриевых, морских водорослей, крабов, креветок. Основное количество жира, богатого омега-3 (до 60 % общей суммы липидов, в том числе 7,6 % ЭПК и 50,8 % ДГК), у тресковых рыб сосредоточено в печени.

Таблица 1.2 – Содержание ЭПК и ДГК в рыбе, морепродуктах и морских водорослях, г в 100 г жира [12, 29, 168].

Объект	ЭПК	ДГК	Сумма
Сардина (<i>Sardinops sagax</i>)	6,6	19,0	25,6
Сельдь (<i>Clupea harengus</i>)	8,5	8,3	16,8
Сёмга (<i>Salmo salar</i>)	6,2	5,8	12,0

Продолжение таблицы 1.2

Горбуша (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>)	1,7	3,3	5,0
Нерка (<i>Oncorhynchus nerka</i>)	0,8	1,9	2,6
Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0,9	4,1	5,0
Окунь (<i>Perca fluviatilis</i>)	0,3	0,9	1,2
Минтай(<i>Theragra chalcogramma</i>)	1,0	2,4	3,4
Ёрш (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)	0,4	0,8	1,2
Судак (<i>Sander lucioperca</i>)	0,2	0,8	1,0
Пеламида атлантическая (<i>Sarda sarda</i>)	0,1	0,1	0,2
Язь (<i>Leuciscus idus</i>)	0,5	1,1	1,6
Плотва (<i>Rutilus rutilus</i>)	0,4	1,1	1,5
Лещ (<i>Abramis brama</i>)	0,4	0,6	1,0
Карась золотой (<i>Carassius carassius</i>)	0,2	0,6	0,8
Щука (<i>Esox lucius</i>)	0,3	1,0	1,3
Мидии (<i>Mytilus edulis</i>)	0,3	0,6	0,9
Устрицы (<i>Crassostrea gigas</i>)	0,4	0,3	0,8
Кальмар (<i>Loligo forbesii</i>)	0,2	0,5	0,7
Краб стригун (<i>Chionoecetes opilio</i>)	0,1	0,1	0,2
Водоросли (<i>Nannochloropsis salina</i>)	0,1	0,0	0,1

Таким образом, эссенциальные жирные кислоты ЭПК и ДГК содержатся только в рыбе, морепродуктах, водорослях. Их высокие содержания в рыбном жире определяют его потенциал в качестве компонента лечебно-профилактического питания.

1.1.2 Роль полиненасыщенных жирных кислот в поддержании здоровья человека

В организме человека омега-3 ПНЖК обнаруживаются в клетках и тканях в составе различных классов липидов, таких как триацилглицериды, фосфолипиды, кардиолипиды, сфинголипиды, эфиры стероидов и жирных кис-

лот, а также в эфирах холестерина. Клеточные мембраны нервной системы, головного мозга и зрительного анализатора содержат преимущественно ПНЖК омега-3, которые присутствуют в фосфолипидах клеточных мембран. ПНЖК омега-3 действуют как медиаторы в ингибировании образования холестерина, что приводит к повышению чувствительности клеток к инсулину и при этом возникает липоантиоксидантный эффект [135,136].

В процессе метаболизма поступившие в организм омега-3 и омега-6 кислоты подвергаются трансформации, АЛК превращается в дигомо-γ-линоленовую кислоту, которая в дальнейшем преобразуется в АРК. АРК является предшественником тромбоксанов, простагландинов, лейкотриенов, участвующих в процессах сужения просвета кровеносных сосудов, повышающих свертываемость тромбоцитов и синтез воспалительных медиаторов. При аналогичных процессах происходит и процесс превращения АЛК в ЭПК, где ЭПК в свою очередь является предшественником простагландинов и лейкотриенов, действие которых является антагонистическим. ЭПК в ходе дезодорации трансформируется в ДГК.

Так как ЭПК и ДГК являются предшественниками противовоспалительных липидов и протектинов, данные кислоты и их соединения выступают в роли эндогенных регуляторов сосудистого тонуса и показателей артериального давления. Дисбаланс между омега-3 и омега-6 ПНЖК оказывает влияние на артериальное давление и периферическое сосудистое сопротивление. Омега-3 подавляют образование альдостерона, такой эффект возникает за счёт изменения внутриклеточного сигнала трансдукции, изменения степени вязкости плазмы крови или влияния на активность ангиотензин-превращающего фермента (АПФ). АПФ трансформирует гормон ангиотензин I в ангиотензин II, который обладает сосудосуживающей активностью и увеличивает синтез альдостерона, повышая тем самым артериальное давление. Исследования на животных показали, что при употреблении омега-3 происходит увеличение образование оксида азота в эндотелии, который играет

роль в расширении сосудов [170]. Эти механизмы обуславливают сосудо-расширяющий, противовоспалительный, антиатерогенный, антиаритмический и антиагрегантный эффекты омега-3 ПНЖК. Омега-3 отвечают за чувствительность рецепторов клеточных мембран к инсулину, при их нехватке и преобладании омега-6 ПНЖК чувствительность к инсулину снижается, в результате чего развивается диабет 2-го типа [115, 117, 118, 169].

Исследования, приведенные в научной литературе, позволяют сделать следующие выводы о влиянии омега-3 ПНЖК на организм:

- активация синтеза эйкозаноидов, ответственных за противовоспалительные процессы за счет стимуляции синтеза простагландина-3 и лейкотриена-5;
- уменьшение выработки медиаторов воспаления за счет снижения уровня лейкотриена-4 и простагландина-2, которые являются медиаторами воспаления;
- побуждение к расширению эндотелия кровеносных сосудов, уменьшение агрегации эритроцитов;
- нормализация метаболизма липидов: омега-3 ПНЖК помогают нормализовать уровень триглицеридов и липопротеидов низкой плотности в крови. Способствуя также увеличению уровня липопротеинов высокой плотности;
- уменьшение выработки фактора некроза опухоли α , интерлейкина-1, фактора агрегации тромбоцитов [22].

Роль ПНЖК омега-3 в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний является на сегодняшний день ведущей причиной их популярности в качестве биологически активных добавок к пище. Сердечно-сосудистые заболевания обуславливают наибольшее число случаев смерти (31,59 %) и потери трудоспособности во многих странах мира и наряду с онкологическими заболеваниями представляют собой важнейшую проблему здравоохранения.

В России сердечно-сосудистые заболевания также остаются национальной проблемой. Актуальный показатель в России смертей от болезней системы кровообращения около 653 смертей на 100 тысяч человек, хотя бо-

лее 10 лет присутствовала тенденция к снижению смертности. В 2020 году смертность от сердечно-сосудистых заболеваний повышалась, ведь определенный вклад внес Covid-19 осложнениями на большинство систем организма, в том числе и на сердечно-сосудистой системе.

Национальным проектом здравоохранения на борьбу с болезнями сердечно-сосудистой системы в РФ выделено 9 млрд. рублей (2018-2024 г.г.). Потери 2,7 млрд. рублей, то есть 3,2 % процентов ВВП в Российской Федерации, обусловлены тем, что более 1/3 всех смертей от болезней кровообращения происходят с трудоспособном населением.

Анализ данных 25-ти проспективных когортных исследований показывает зависимость развития осложнений болезней кровообращения от содержания ПНЖК омега-3 в организме человека. Показано, что частота тяжелых осложнений уменьшается с повышением уровня ДГК и ЭПК в тканях организма [30,135].

В 2019 году завершилось исследование по изучение влияния на развитие сердечно-сосудистых осложнений икосапент этила (высокоочищенный этиловый эфир ЭКП), в котором приняли участие 8179 человек. Исследование показало благоприятное влияние препарата на прогноз и течение заболеваний у людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями или сахарным диабетом второго типа [117].

К концу исследования было установлено снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний на 25 %, целевой уровень холестерина липопротеидов низкой плотности уменьшился с 2,30 ммоль/л до 1,03 ммоль/л, и приблизился к физиологической норме. Содержание в крови триглицеридов снизилось с 5,6 ммоль/л до 2,3 ммоль/л. Среднее снижение уровня триглицеридов в крови у пациентов, получающих икосапент этила, составило 18 %, а в группе плацебо – 2,2 % [117, 135].

Высокодозовая терапия омега-3 ПНЖК в дозировке 3 г/сут. на протяжении 6 месяцев была оценена при систематическом анализе профессором,

японским доктором медицинских наук Акирой Секикавой и его соавторами на течение атеросклероза коронарных и каротидных артерий. Данное исследование говорит о значимом замедлении прогрессии атеросклероза и предупреждении сердечно-сосудистых событий, при включении в рацион пациента высоких доз омега-3 ПНЖК. Между тем известно, что прогрессирование атеросклероза с многососудистым поражением коронарных и каротидных артерий может ассоциироваться с высоким риском развития острых коронарных и церебральных событий с фатальным исходом [158].

Для анализа содержания в организме омега-3 ПНЖК был предложен специальный индекс, который рассчитывается как сумма процентного содержания ЭПК и ДГК в мембране эритроцитов человека. Индекс более 8 % ассоциировался со значительно меньшим (на 90 %) риском внезапной смерти от сердечно-сосудистых событий по сравнению с индексом менее 4 % [117].

Анализ европейских стран по уровню смертей от сердечно-сосудистых заболеваний показал, что Норвегия и Франция занимают последние места. Это обусловлено, в первую очередь, особенностью пищевых предпочтений, которые смещены в сторону морепродуктов и рыбы. У жителей этих стран был выявлен более высокий уровень ЭПК и ДГК в крови, редко регистрировались ССЗ, вызванные атеросклерозом, в том числе и острый инфаркт миокарда [111].

Таким образом, значимость полученных данных об эффективности и безопасности ω -3 ПНЖК, подтверждённая в крупных контролируемых клинических исследованиях, определяет их место среди профилактических и лекарственных средств, применение которых способствует улучшению прогноза больных высокого сердечно-сосудистого риска, активации синтеза эйкозаноидов ответственных за противовоспалительные процессы, нормализации метаболизма липидов и т.д.

Роль полиненасыщенных жирных кислот в регуляции иммунной системы. Некоторые исследования показывают, что определенные типы ПНЖК, в

частности омега-3 жирные кислоты, могут оказывать влияние на развитие так называемой «памяти» иммунной системы. Память иммунной системы позволяет организму более эффективно бороться с повторным воздействием патогена [147].

Регуляция иммунных и воспалительных реакций опосредована широким спектром метаболитов ПНЖК (лейкотриены, простагландины, протектины, марезины и резольвины) [100, 120, 148]. Имеются убедительные доказательства того, что ДГК и АЛК играют важную роль в развитии иммунной системы у детей. ПНЖК, введенные в рацион питания на ранних этапах развития детей, оказывали благоприятное воздействие на функционирование иммунных клеток, а также их количество, при этом вероятность формирования иммунодефицита уменьшалась [148]. Помимо этого, ПНЖК снижали случаи возникновения у младенцев на первом году жизни острых респираторных заболеваний и диареи [142, 145].

Было выявлено, что добавление в сухие смеси для кормления детей раннего возраста ДГК и АЛК, позволяет добиться распределения иммунных клеток и профиля цитокинов, идентичного профилю на грудном вскармливании. Наблюдения за группой из 91 здорового ребенка, в рационе которых присутствовала добавка из ДГК и АЛК, на протяжении 6 лет, установило снижение проявления аллергических реакций в первые годы жизни [128, 139]. Исследования влияния 0,32 % метилового раствора ДГК, который был назначен дополнительно к питанию детей до годовалого возраста, показали снижение заболеваемости бронхиолитом [125]. При эндотоксемии применение ЭПК и ДГК помогало снижать температуру тела, уровень маркеров воспаления, применяемая дозировка ПНЖК соответствовала 3600 мг/день [130].

ПНЖК омега-3 влияют на клеточно-опосредованную цитотоксичность и активность НК-клеток, могут активировать В-клетки, при этом влияние на Th2 и Treg клеток отсутствует [73]. Резольвины, образованные из ЭПК и ДГК, являются эндогенными липидными медиаторами, которые имеют выражен-

ное терапевтическое действие против патогенных бактерий и вирусных инфекций (вирусы простого герпеса, периодонтита, гриппа А). Взаимодействие микроорганизмов и клеток человека также может регулироваться включенными в клеточную мембрану омега-3 кислотами, которые подавляют создание кластеров Toll-подобных рецепторов (TLR), и те в свою очередь угнетают активацию ядерного транскрипционного фактора NF-κB по средству ингибирования сигнальных путей [73].

Попадая в организм, омега-3 кислоты оказывают влияние на врожденный и адаптивный иммунитет посредством изменения самой кишечной микробиоты. Происходит перекисное окисление ДГК и ЭПК до соединений, которые обладают антибактериальной активностью. В исследованиях было показано влияние минимальных дозировок ПНЖК на развитие немногих патогенных микроорганизмов [160].

Также одним из возможных путей влияния ПНЖК на иммунный ответ организма является возможность преобразования экспрессии генов за счет регуляции транскрипции рецепторов, активируемых пероксисомными пролифераторами PPARs (peroxisome proliferator-activated receptors). При этом происходит подавление активности микроорганизмов и создание фактора некроза опухоли, интерлейкинов IL-1 и IL-6 [69,143].

Всё выше сказанное говорит о значимой роли ПНЖК в создании и регулировании на ранних этапах иммунного ответа у детей, а также нормальное функционирование иммунного ответа у взрослого человека. Эта регуляция иммунных и воспалительных реакций опосредована широким спектром метаболитов ПНЖК, к которым относятся лейкотриены, простагландины, протектины, марезины и резольвины.

Роль полиненасыщенных жирных кислот в профилактике аутоиммунных заболеваний суставов. Исследования показали, что омега-3 жирные кислоты могут снижать аутоиммунную воспалительную реакцию у пациентов с ревматоидным артритом [137].

Важную роль в развитии деградации хряща играют воспалительные цитокины, главным образом, интерлейкин-1 [145,151]. Так как эйкозаноиды синтезируются из жирных кислот омега-6 и омега-3, то АРК и ЭПК конкурируют за ферменты циклооксигеназу и липоксигеназу за превращение в эйкозаноиды. Эйкозаноиды, образующиеся из АРК, обладают провоспалительным и проагрегирующим действием, тогда как эйкозаноиды, которые получены из жирных кислот омега-3, обладают противовоспалительным действием и ингибируют агрегацию тромбоцитов. Благотворное воздействие жирных кислот омега-3 опосредовано ими самими, а также их метаболитами, а именно резольвинами, протектинами и марезинами [149;172].

Наиболее изученными метаболитами омега-3 являются резольвины, которые подразделяются на два класса. Резольвины класса D представляют собой продукты ДГК, а резольвины класса E – ЭПК. Эти метаболиты жирных кислот омега-3 конкурируют с метаболитами омега-6, способствуя разрешению воспалительного цикла. Считается, что они играют значительную роль в ослаблении воспаления и регуляции аутоиммунитета [146,149,172].

В исследовании, посвященном потреблению рыбного жира пациентами с ревматоидным артритом, уровень интерлейкина-1 β в плазме (IL-1 β) снизился, жалобы на боль в суставах сократились. В другом клиническом исследовании на здоровых добровольцах добавки с рыбным жиром вызывали снижение уровня фактора некроза опухоли-альфа (TNF- α), IL-1 β и интерлейкина-6 (IL-6) эндотоксин-стимулированными клетками моноцитов [175].

Результаты исследований на трансгенной линии мышей fat-1, у которых возможно эндогенное производство ПНЖК омега-3, количество воспалительных метаболитов было заметно снижено по сравнению с исходной группой [171]. Добавление в рацион мышей рыбного жира замедляло проявление и снижало частоту и тяжесть коллаген-индуцированного артрита по сравнению с группами, в рационе которых преобладали растительные масла. Ежедневное потребление морских полиненасыщенных жирных кислот омега-

3 кислот в виде этиловых эфиров уменьшало отек лап, патологии коленного сустава при коллаген-индуцированном артрите [174].

Метаболиты, образующиеся при приеме ПНЖК омега-3, учувствуют в блокировке активности циклооксигеназы при остеоартрозе, тем самым пресекают передвижение моноклеарных клеток в очаг воспалительных процессов. Таким образом, происходит уменьшение болевого синдрома и снижается уровень воспалительных реакций [139].

Многими клиническими испытаниями было доказано благоприятное воздействие омега-3 ПНЖК как в индивидуальном, так и в комплексном лечении аутоиммунных заболеваний. Например, комбинированный препарат на основе омега-3 из рыбного жира с растительными экстрактами был признан Европейской антиревматической лигой (EULAR) [176].

Таким образом, ПНЖК омега-3 ряда, в особенности ЭПК и ДГК, выполняют важную роль в обмене веществ в организме человека в целом, а также благоприятно воздействуют на сердечно-сосудистую и нервную систему. Большинство позвоночных животных не способны синтезировать ЭПК и ДГК в нужных количествах внутри организма, а значит, пища является их основным источником. Хотя основное количество ПНЖК омега-3 человек получает из растительных источников, а ЭПК и ДГК – из рыбы и различных морепродуктов, многие люди, в том числе жители России имеют серьезный дефицит ЭПК и ДГК в питании.

Таким образом, использование вторичного рыбного сырья данного направления позволит повысить производство продукции с ПНЖК, а именно с ЭПК и ДГК из недоиспользуемых вторичных рыбных отходов, расширяя при этом уже имеющийся ассортимент функциональных продуктов питания.

1.2 Методы получения рыбного жира

Для получения высококачественного жира необходимо учитывать два основных условия: качество вторичного рыбного сырья и технологию извлечения жира. В зависимости от условий, получаемый жир может подвергаться негативным факторам, которые влияют на качество получаемого продукта. К таким факторам относятся высокие температуры, продолжительное воздействие кислорода воздуха, а также реагенты, используемые в технологии извлечения (вода, ферменты, органические кислоты и растворители и т.д.) [10].

В организме рыбы липиды могут быть сосредоточены в жировой ткани в свободном виде (запасные липиды), либо в протоплазме клеток в связи с белками (липопротеиды). Жировые клетки в рыбном сырье состоят из коллагеновых и эластиновых волокон, связанных между собой межклеточным веществом. Выделить из жировых клеток липиды возможно при вытапливании, при использовании органических растворителей. Протоплазматические липиды выделить сложнее, поскольку для этого необходимо разрушить белково-липидные комплексы [11, 69].

Процесс получения жира из вторичного сырья состоит из двух основных этапов: разрушение структуры ткани и непосредственно отделение жира от полученной массы рыбного сырья [10].

Одним из методов разрушения жировых клеток для экстракции жира является метод температурного воздействия, когда ткань нагревается до 85-95 °С, и образующийся пар разрушает мембрану клеток, позволяя жиру вытекать. При таком воздействии также частичному разрушению подвергаются коллоидные системы клеток. Повышенные температуры применяются при классическом методе обработки рыбного жирового сырья, который носит название влажного прессования. С технической точки зрения этот метод представляет собой проварку сырья в воде при температуре от 65 до 95 °С, Данный метод широко освещен в научной литературе [11, 69].

Высвобождение жира из рыбного сырья может происходить при использовании низких температур. В этом случае присутствующая в сырье вода при замерзании образует кристаллы, которые разрушают мембраны клеток. Наиболее эффективным является использование температуры минус 20 °С [10, 12].

Разработан гидромеханический метод, основанный на использовании кавитационных явлений и механических импульсов при обработке рыбного сырья. Этот способ позволяет извлекать более 80 % содержащегося в сырье жира, однако из-за сложности реализации не получил широкого распространения [11, 13].

Для разрушения жировых клеток при выделении жира могут использоваться также методы микроволнового и ультразвукового воздействия. Так, авторами [154] показана эффективность этих методов при извлечении жира из побочных продуктов морского окуня (*Sparus aurata*). Оптимальные условия составили 38 мин и 42 °С для ультразвуковой и 18 мин и 40 °С для микроволновой обработки. По содержанию полиненасыщенных жирных кислот и показателям окисления качество жиров было оценено положительно. José Pinela и соавторами исследована эффективность микроволновой обработки вторичного рыбного сырья при мощности СВЧ 50-1000 Вт. При оптимальных условиях обработки удавалось извлечь от 60 до 100 % жира сырья менее чем за 19 минут [153].

Использование различных химических реагентов приводит к разрушению жировых клеток и позволяет осуществить достаточно эффективную экстракцию липидов. Описано использование такой предварительной обработки рыбного сырья как щелочной гидролиз, кислотное силосование. Для выделения жира применяются такие органические растворители как диэтиловый эфир, гексан, изопропанол [155].

Биотехнологический метод является наиболее экологически чистым методом получения рыбного жира и за счет мягких режимов позволяет сохранить качество полиненасыщенных жирных кислот [10].

Российскими и зарубежными исследователями ведется активное изучение влияния ферментативной обработки рыбного сырья на выход из него жира и его качество. Чаще всего для этих целей используются различные ферментные препараты протеолитической направленности [12,17,56,75,77].

Например, в патенте РФ № 2642496 рассмотрен способ получения жира из вторичного рыбного сырья, в особенности из внутренностей, при воздействии ферментным препаратом Alcalase FG (Novozymes A/S) в количестве 0,4-0,6 % к массе смеси. Сырьё измельчалось до размеров частиц 2-5 мм, после смешивалось с ферментным препаратом и при температуре 40 °С в течение 20-30 мин, рН при этом составлял 6,6. Полученную смесь сепарировали и отделяли жир [75].

В работе по извлечению пищевого рыбного жира из замороженных голов лососевых рыб, горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) и кеты (*O. keta*) для ферментативной обработки использовали ферментный препарат протеазы Махазуте. В количестве 0,2 % от общей массы сырья и воды. Гидролиз осуществляли в течение 30–40 мин при температуре 46–48 °С и рН 6,4–6,8. После инактивации фермента жир отделяли центрифугированием. Данный способ позволил извлечь 70 % содержащегося в сырье жира, который отличался высоким содержанием омега-3 ПНЖК (44,2 %), в частности, ЭПК (26,1 %) [17].

Авторами патента № 2224529 использовались ферментные препараты микробиологического происхождения протомегатерин или протакрин в количестве 10-200 ПЕ/кг, процесс гидролиза вели при температуре 40-48 °С в течении 30-120 мин. При данном способе извлечения жира сохранялись его ценные лечебно-профилактические свойства, в особенности высокое содержание витамина А и низкие показатели окисления [76].

Проводились работы по извлечению жира из печени рыб, перед измельчением печень обрабатывали 0,3 % раствором антиокислителя и замораживали, после чего измельчали до образования частиц размера 2-5 мм. Для ферментолиза была выбрана протеаза растительного происхождения Corolase L10, которую вносили в количестве 0,05-0,1 % от массы сырья. Гидролиз вели при температуре 45-50 °С, жир отделяли центрифугированием, после чего очищали сепарированием с последующей адсорбцией при температуре от 20 до 50 °С в вакууме. Получено более 85 % жира от его общего содержания в сырье, жир характеризовался высокими уровнями ПНЖК [77].

Показана эффективность гидролиза голов скумбрии (*Scomber scombrus*) ферментным препаратом Alcalase в дозировках 0,5-2,0 % в течение 1-4 ч при выделении из него жира. Наилучший результат (выход жира 76,26 %) был получен при концентрации ферментного препарата 2,0 % и времени гидролиза 4 ч. Для предотвращения потемнения жира и ухудшения его органолептических и физико-химических показателей гидролиз проводили в буферном растворе [133].

При экстракции жира из целой балтийской сельди (*Clupea harengus membras*) и ее побочных продуктов исследовали действие трех различных протеаз (Alcalase, Neutrase, Protamex) при времени ферментативной обработки 35 и 70 минут. Наибольший выход жира из вторичного сырья был получен при обработке ферментным препаратом Protamex в течение 70 минут. Однако, показатели окислительной порчи имели более низкие значения при 35-минутной обработке [170]. При сравнении эффективности экстракции липидов из печени дальневосточного удильщика (*Lophius litulon*) методами водной экстракции, гидролиза гидроксидом калия и гидролиза ферментным препаратом Neutrase, наилучшие результаты были получены при использовании протеолитического гидролиза. Оптимальные условия протеолиза установлены как концентрация фермента 2000 МЕ/г, время экстракции – 1 ч, гидромо-

дуль – 1:2, температура 40,5 °С, рН 6,5, Содержание ЭПК и ДГК составило 8,06 и 1,19 % соответственно [172].

Авторами [161] установлено, что извлечение жира из отходов от разделки тунца с помощью ферментативного гидролиза ферментным препаратом Alcalase позволяет получить больший выход жира в сравнении с использованием влажного прессования. При этом качественные показатели жира, содержание в нем ненасыщенных жирных кислот не зависели от применяемого метода экстракции.

Анализ литературных источников позволяет выделить биотехнологический способ получения жира из рыбного сырья как наиболее эффективный, экономически целесообразный и экологичный. Использование протеолитических ферментных препаратов позволяет существенно повысить степень извлечения жира и получать продукт высокого качества при минимальном воздействии негативных факторов.

1.3 Проблемы безопасности рыбных жиров из различных сырьевых источников

1.3.1 Перекисное окисление липидов

Рыбный жир при его получении и хранении может подвергаться процессу окислительной порчи из-за большого содержания ПНЖК, в которых этот процесс происходит интенсивно по месту наличия двойных связей. Сам процесс и его скорость зависят от множества факторов, таких как состав самой липидной фракции, наличие примесей (металлов, воды и др.), температуры хранения, доступ кислорода, света и относительная влажность воздуха [122].

Процесс порчи жира протекает по типу цепной реакции в три стадии: зарождение, развитие цепи и дальнейший обрыв. На первом этапе происхо-

дит образование свободных радикалов, у которых в наличии присутствует неспаренный электрон, имеющий повышенную реакционную способность. На втором этапе свободные радикалы присоединяются к высшим жирным кислотам, входящим в состав триацилглицеридов рыбного жира, а при доступе кислорода они так же его присоединяют к себе, образуя нерадикальные промежуточные соединения (пероксиды и гидропероксиды). Перекисные соединения в процессе деградации в дальнейшем образуют следующие свободные радикалы, а на третьем этапе при обрыве цепи уже образуются вторичные продукты окислительной порчи: альдегиды, кетоны, различные спирты и другие углеводороды. Схема окислительной порчи липидов с образованием малонового диальдегида представлена на рисунке 1.1 [124, 171].

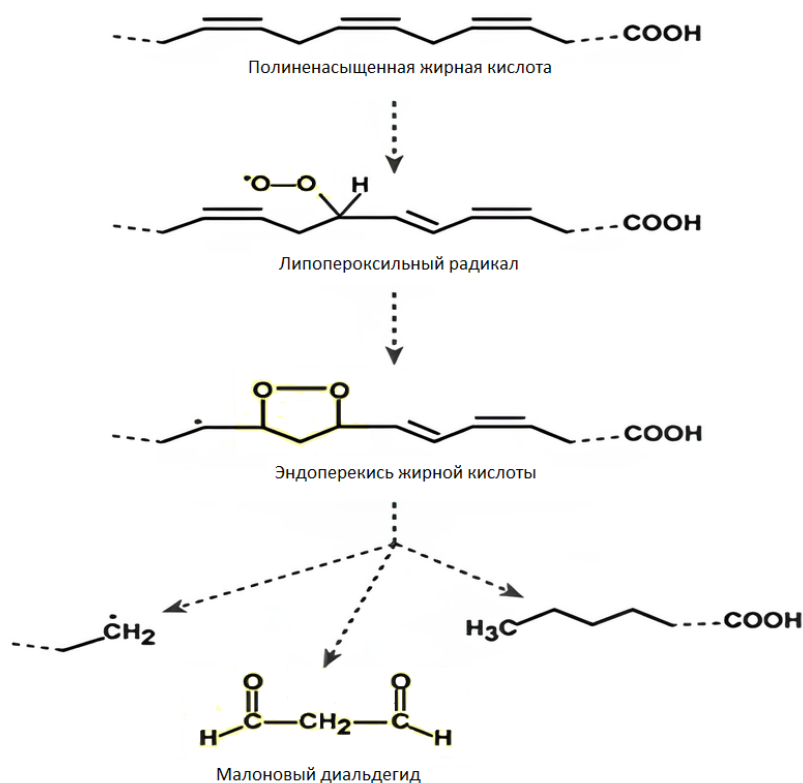


Рисунок 1.1 – Схема реакции окисления жирной кислоты с образованием малонового диальдегида [66]

Вторичные продукты окислительной порчи жиров пагубно влияют на органолептические показатели, а также снижают биологическую ценность полученного рыбного жира, поскольку происходит разрушение ПНЖК [13].

Перекисное окисление жиров происходит по большей части на границе раздела фаз. При наличии воды и её следов, образуются активные формы кислорода, который и вступает в реакцию. Чтобы предотвратить свободнорадикальные реакции с последующей порчей жира, используют водо- и масло-растворимые ингибиторы – антиокислители (антиоксиданты). В роли таких антиокислителей могут выступать бутилоксианизол (БОА), бутилокситолуол (БОТ), аскорбиновая кислота, токоферолы и др. Хотя в настоящее время так же уделяется внимание природным композициям или экстрактам, содержащих целый комплекс эффективных антиоксидантов [3, 66].

Действие антиоксидантов обусловлено несколькими механизмами: образование комплексов с ионами металлов; подавление действия синглетного кислорода и супероксидных анионов; разрушение продуктов окисления; присоединение антиоксидантами свободных радикалов; обрыв цепей окисления, прекращение дальнейших реакций. Действие природных антиоксидантов обусловлено преимущественно фенольными и полифенольными соединениями в их составе (биофлавоноиды, хиноны, дубильные вещества, фенол-карбоновые кислоты, фенольные спирты и др.) [66].

Использованием природных антиоксидантов для обеспечения стабильности рыбных жиров занимались многие исследователи. Например, Боевой Н.П. и соавторами проводились исследования по действию синтетических антиокислителей БОТ и БОА в комплексе с природными компонентами (эфирные масла пихты, апельсина и лимона) при хранении биологически активных добавок (БАД) с ПНЖК омега-3 на основе рыбного жира. Результаты показали снижение интенсивности окислительной порчи при температуре хранения 5 °С на протяжении 3-х месяцев. Кислотное число с 2,2 мг КОН/г

выросло до 4,5 мг КОН/г, а в контрольном образце, без использования природных антиоксидантов, – до 8,7 мг КОН/г [15].

Учеными Дальневосточного федерального университета было исследовано влияние экстрактов амаранта на окислительную порчу жиров фарша из лососевых рыб. Накопление малонового диальдегида было менее интенсивным в сравнении с контрольным образцом [55].

Исследователями Калининградского государственного технического университета Агафоновой С.В. и Байдалиновой Л.С. была доказана высокая антирадикальная активность CO_2 -экстрактов различных растений. Изучение влияния CO_2 -экстракта розмарина на хранение лососевого жира позволило установить, что содержащиеся в составе экстракта каротиноиды, фенольные соединения, аскорбиновая кислота ингибируют процессы окисления [3].

В патенте РФ №2427616 Исаевым В.А. предложено использовать при производстве БАД «Эйконол» для предотвращения окислительной порчи рыбного жира чистый α -токоферол, а также комплексную БАД, в состав которой входило масло льняное, селен, лецитин, лимонная кислота и α -токоферола ацетат. Предлагалось также добавлять крилевый жир, содержащего природный антиоксидант астаксантин, имеющий высокую антиокислительную способность. Использование этих антиоксидантов способствовало сохранению нативных свойств липидной фракции и фармакологической активности рыбного жира [81, 103].

Специи и пряности обладают антиоксидантной активностью. Особенно перспективным источником природных антиоксидантов является гвоздика. Добавление 0,2% аниса, кардамона, кориандра, имбиря, укропа, укропа и майорана повышает устойчивость жиров к окислению в 2-3 раза, а розмарина и шалфея – в 15-17 раз [62].

Растительные экстракты, полученные обработкой углекислым газом, представляют особый интерес. При экстракции с использованием сжиженного диоксида углерода (экстракция CO_2) из растения наиболее полно извлека-

ются вещества, отвечающие за антиоксидантные свойства экстракта, его вкусовые и ароматические свойства. Исследования оказывают, что содержание антиоксидантов в сверхкритических экстрактах шалфея находится на уровне 10-14 моль / кг, розмарина – 5-7 моль / кг. Антиоксидантный эффект этих экстрактов обеспечивается такими компонентами, как терпеноиды, стероиды, токоферолы, фенольные кислоты, флавоноиды, воски [62].

Интерес для использования в жиросодержащих продуктах, в том числе с добавлением рыбного жира, представляет экстракт гвоздики благодаря своим органолептическим достоинствам и высокому антиоксидантному потенциалу [3].

Учеными [4] установлен высокий антиоксидантный потенциал эфирного масла и экстракта гвоздики. При реакции компонентов гвоздики с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом установлена величина антирадикальной эффективности на уровне $5,22 \times 10^{-2}$ л/г×сек для эфирного масла гвоздики и $2,97 \times 10^{-2}$ л/г×сек для экстракта гвоздики. Что выше, либо сопоставимо с антирадикальной эффективностью ионола ($2,97 \times 10^{-2}$ л/г×сек).

Установлено, что столь высокий антиоксидантный потенциал связан с большим содержанием в эфирном масле гвоздики эвгенола (73,08 %) – душистого вещества класса фенолов [62].

Эвгенол обладает выраженными антиокислительными свойствами, за счет способности связывать свободные радикалы. Схема его окисления представлена на рисунке 1.2.

Показана эффективность эфирного масла гвоздики при стабилизации льняного масла. Анализ тиобарбитуровых чисел образцов льняного масла, стабилизированных аскорбилпальмитатом и эфирным маслом гвоздики на протяжении 50 суток хранения показал, большую эффективность последнего в плане предотвращения накопления продуктов вторичного окисления липидов. Также была установлена способность эфирного масла гвоздики поз на 96

% сохранять линолевую кислоту в составе льняного масла и на 88 % – линоленовую [178].

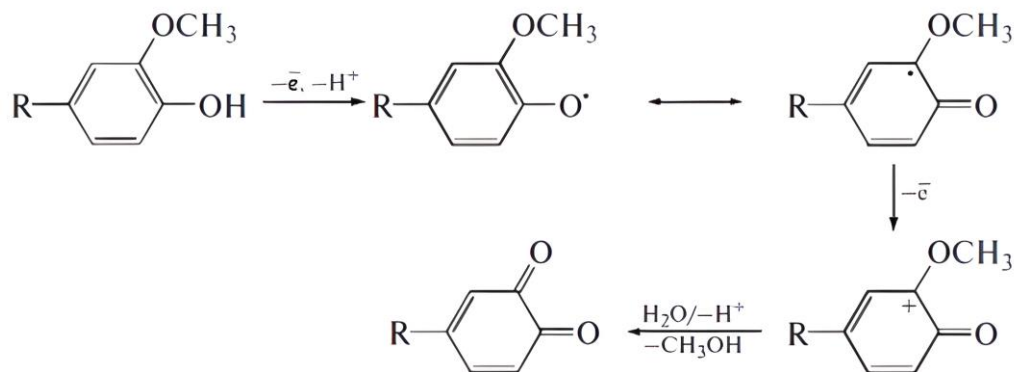


Рисунок 1.2 – Схема окисления эвгенола

При производстве продукции на основе рыбных жиров важным аспектом является пролонгирование срока годности и обеспечение высокого качества продукции за счет таких факторов, как использование антиокислителей, щадящие методы извлечения жира, условия хранения.

1.3.2 Аспекты безопасности при получении жиров из копченого рыбного сырья

Помимо рыбного сырья, не прошедшего термообработку, источником жира может являться технологически обработанное вторичное сырье, к примеру, вторичное сырье копильных производств. К наиболее популярной копченой рыбной продукции, производимой в Калининградской области, относятся рыбные консервы «Шпроты в масле» – консервы из мелких сельдевых рыб, предварительно подвергнутых горячему копчению дымовым способом, залитых растительным маслом. Традиционным сырьем для изготовления таких консервов является балтийская килька (*Sprattus sprattus balticus*)

[48]. Основным отходом при производстве консервов «Шпроты в масле» являются головы кильки, не подлежащие использованию для кормовых целей из-за присутствия коптильных компонентов. Голова составляет 10-12 % от массы целой рыбы, а ежесуточное количество таких отходов в Калининградской области насчитывает 8-10 т [48,68].

В Калининградском государственном техническом университете запатентован способ переработки голов копченой кильки, заключающийся в глубоком термическом гидролизе и выделении трех фракций: жировой, пептидной и белково-минеральной. Получаемые пептидная и белково-минеральная фракции являются концентратами легкоусвояемых белковых компонентов, минеральных веществ и могут использоваться как в пищевых, так и в кормовых целях. Жировая же составляющая не находит применения и является отходом при производстве белковых гидролизатов. Ее использование на кормовые и пищевые цели ограничивается присутствием небезопасных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые, имея липофильную природу, концентрируются в ней в большем количестве, чем в двух других фракциях [68,69].

Между тем, жиры, получаемые при термическом гидролизе голов копченой кильки, имеют потенциал для создания на их основе пищевых композиций. Известно, что все рыбы семейства сельдевых отличаются благоприятным жирнокислотным составом жира, который включает полиненасыщенные кислоты омега-3, в том числе ЭПК и ДГК. Выделяемый из свежей или мороженой кильки жир недостаточно стабилен вследствие высокой активности липаз килечного сырья. При этом компоненты, образующиеся при сгорании древесины в процессе копчения кильки, выступают в роли антиоксидантов и тормозят процессы окислительной порчи ПНЖК [69]. Жир, образующийся при термическом гидролизе голов копченой кильки, имеет интенсивно выраженные привкус и аромат копчености и может являться основой для создания

копильного ароматизатора, ароматизированных масел и заливок для различной рыбной продукции (пресервов, кулинарных изделий).

Среди компонентов копильного дыма наиболее токсичными являются бенз(а)пирен (БП), бензо(б)флуорантен (БФ), бенз(а)антрацен (БА), хризен (Х). Их токсичность для человека заключается в мутагенном и канцерогенном действии. Содержание БП и БА нормируется в копильных пищевых добавках Техническим регламентом Таможенного союза 029/2012 в количествах, не превышающих 2 и 20 мкг/кг соответственно. Содержание остальных ПАУ не нормируется в России, однако, контролируется в странах Европейского союза, поскольку, они также обладают токсическим действием и должны быть по возможности удалены из продукта [58]. Исследователями Клеменс (1986) и Торсланд (1990) определены так называемые факторы токсической эквивалентности ПАУ в сравнении с БП. Исходя из этого, рекомендуемые уровни БФ и Х в пищевом рыбном жире должны составлять не более 20 и не более 30 мкг/кг соответственно [59].

Существуют различные подходы для очистки жиров и масел от ПАУ, основными из которых являются экстракция растворителями (например, этанолом) и выделение с помощью сорбентов (активированный уголь, зола из раковин мидий, глины, диоксид кремния, цеолиты). Активированные угли обладают наиболее высокой абсорбционной способностью по отношению к ПАУ, благодаря их хорошо развитым пористым свойствам и широкому диапазону полярности [92, 114, 130].

Согласно некоторым источникам [114, 145] адсорбционная активность активированного угля в отношении ПАУ включает 2 компонента: слабую и сильную адсорбцию. Слабая адсорбция обусловлена гидрофобными взаимодействиями, силами Ван-дер-Ваальса, водородными связями. Сильная адсорбция связана с π - π -взаимодействием и комплексообразованием и электростатическим взаимодействием. Ароматические кольца в ПАУ состоят из нескольких π -электронов, которые могут легко соединяться с ароматическими

кольцами на активированном угле. Механизм адсорбции ПАУ в жировой фазе активированным углем представлен на рисунке 1.3. Когда ПАУ жира вступают в контакт с высокопористой структурой поверхности активированного угля, межмолекулярные силы приводят к концентрированию или осаждению части молекул ПАУ из масла на его поверхности [114].

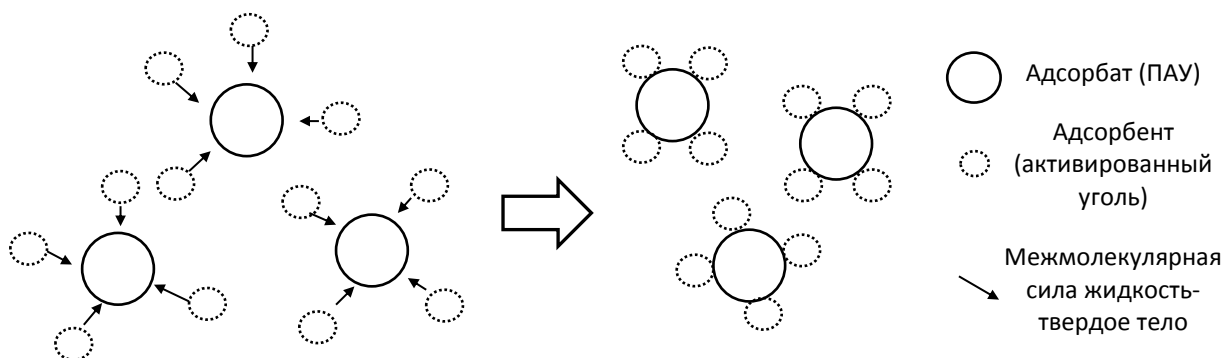


Рисунок 1.3 – Механизм адсорбции ПАУ в жировой фазе активированным углем

Метод адсорбции ПАУ активированным углем является наиболее простым, доступным, а также не влияет на содержание в жире омега-3 ПНЖК [137]. Степень извлечения ПАУ увеличивается с увеличением индивидуальной молекулярной массы ПАУ, зависит от типов используемых активированных углей и может достигать 80-100 % [177]. Показано эффективное удаление 99,7 % бенз(а)пирена из растительного масла обработкой 1 % активированного угля при 110 °С в течение 35 мин под вакуумом [114]. На эффективность извлечения ПАУ оказывают влияние такие параметры процесса как температура, время перемешивания жира с сорбентом, соотношение жира и сорбента [177].

В научной литературе описаны способы очистки от ПАУ с помощью адсорбции подсолнечного, хлопкового, кунжутного масел, лососевого жира [136, 176, 178]. Однако, очистка рыбных жиров из вторичного сырья копильных производств освещена недостаточно.

1.4 Актуальные направления применения пищевых рыбных жиров

1.4.1 Рыбные жиры в качестве компонентов пищевой продукции

По состоянию на 2020-2022 гг. диету среднестатистического россиянина нельзя считать полностью сбалансированной. Несмотря на высокий уровень потребления молочной продукции и яиц, потребление мяса, рыбы, овощей и фруктов находится на низком уровне (рисунок 1.4) [51].

Среднедушевое потребление мяса и мясопродуктов в России значительно превышает потребление рыбы. Одной из возможных причин низкого потребления рыбы в России может быть отсутствие качественной и свежей рыбной продукции во многих регионах страны [43, 52]. Стимулирование употребления рыбы и морепродуктов и продуктов на их основе может внести значительный вклад в оздоровление населения.

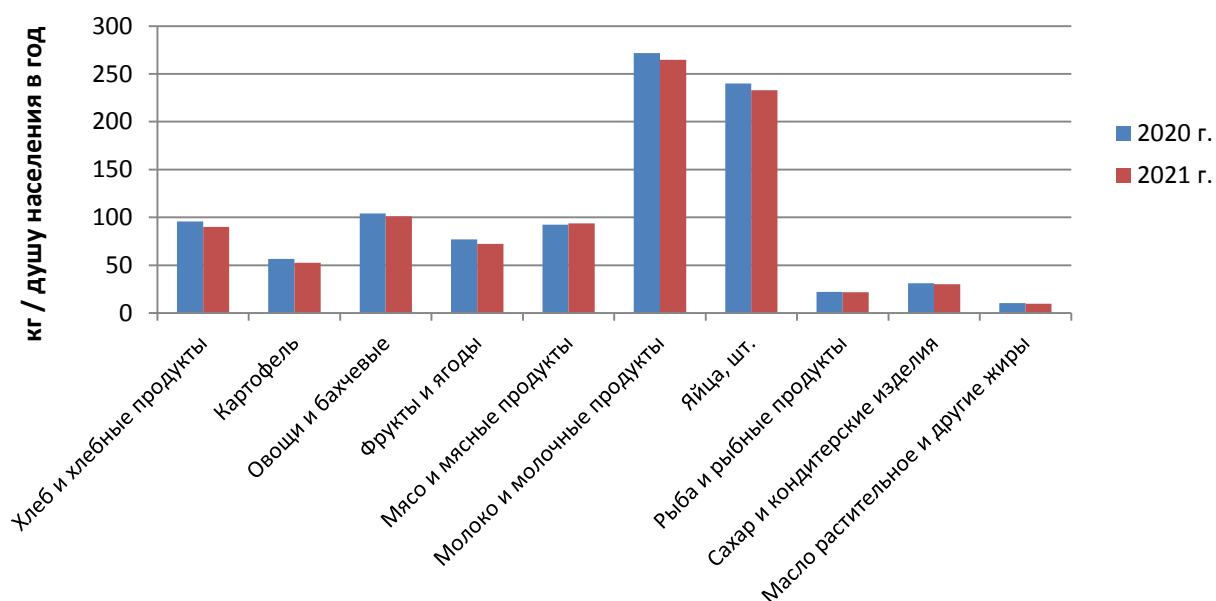


Рисунок 1.4 – Потребление основных продуктов питания населением РФ (2020-2021 гг.), кг на душу населения в год [51]

Исходя из статистических данных, можно заключить, что в питании населения РФ преобладают НЖК и МНЖК животных и растительных жиров

и имеется дефицит эссенциальных омега-3 ПНЖК типа ЭПК и ДГК, которые содержатся в рыбе и морепродуктах.

Интерес к БАД и лекарственным препаратам, содержащим рыбный жир, остается стабильно высоким на протяжении последних десяти лет [47]. При этом, в последние годы потребители предпочитают выбирать отечественных производителей. Акцент с таких лидеров производства биологически активных добавок как Solgar, Metagenics, NOW, смещается в сторону отечественных брендов [47]. В 2023 году доля содержащей рыбный жир отечественной продукции на рынке, составила 60 %.

Помимо классических БАД и лекарственных препаратов, содержащих рыбный жир, учеными исследуется разработка различных функциональных продуктов, в том числе, с инновационной доставкой эссенциальных жирных кислот, например, с помощью липосомирования [47, 102]. Разработаны технологии производства молока, кисломолочных продуктов, спредов, обогащенных омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами рыбного жира [40, 45].

Учёными из Калининградского государственного технического университета разработана технология хлебобулочных изделий, выработанных с использованием лососевого жира «Эссенциейл Фито», стабилизированного CO₂-экстрактом розмарина. Помимо повышения биологической ценности продукта, лососевый жир оказал благоприятное воздействие на пористость, формоустойчивость и удельный объем хлеба [2].

Авторы патента РФ 2376781 использовали рыбный жир для создания пищевых эмульсий, обладающих лечебно-профилактическим действием на сердечно-сосудистую систему. В пищевую эмульсию вошел комплекс из растительных масел, жиры, полученные из гидробионтов и выпущенные в виде БАД «Эйколен», аскорбиновая, лимонная и сорбиновая кислоты, селенит натрия и лецитин соевый, желатин пищевой, поваренная соль и вода [83].

Актуальным видится расширение ассортимента эмульсионной продукции массового потребления за счет включения в ее состав рыбного жира. Классическими эмульсионными продуктами являются майонезы и соусы майонезные. В соответствии с Техническим регламентом на масложировую продукцию (ТР ТС 024/2011), майонез представляет собой эмульсию с однородной структурой, в которой обязательно присутствует яичный порошок в составе. Все остальные продукты, лишенные яичных компонентов, относятся к категории майонезных соусов. Как и для любой соусной продукции, роль майонезов и майонезных соусов в питании человека заключается в улучшении вкуса и аромата приготовленных блюд, повышении их пищевой ценности и дополнении химического состава пищи.

Майонез представляет собой эмульсионный продукт с тонкодисперсной однородной структурой, содержащий заданное количество жира. Он изготавливается из рафинированных дезодорированных растительных масел, воды, яичных продуктов и может содержать продукты переработки молока, пищевые добавки и другие компоненты. Продукт должен содержать не менее 50 % жира и не менее 1,0 % яичных продуктов в пересчете на сухой желток (ГОСТ 31761-2012).

Майонезный соус представляет собой гомогенную эмульсию, состоящую из растительного масла, с добавлением молочных продуктов или без них, разнообразных пищевых добавок, воды. Содержание жира в составе продукта не менее 15 % [97]. Новые виды майонезных соусов всё активнее завоёвывают рыночный сегмент, спрос на такую продукцию растет намного быстрее, чем на традиционный майонез, поскольку средне- и низкокалорийные сегменты более предпочтительны для населения [97].

Рынок майонеза и майонезных соусов в 2021 г. в мире составил 3,7 млн тонн на общую сумму 9,6 млрд. долл. США, что на 1,1 % в натуральном и стоимостном выражении больше уровня 2020 г. (рисунок 1.5). Среднегодо-

вые темпы роста составили 1,5 % в стоимостном выражении и 0,7 % в натуральном. Доля России в мировом рынке составляет 17,2 % [94].

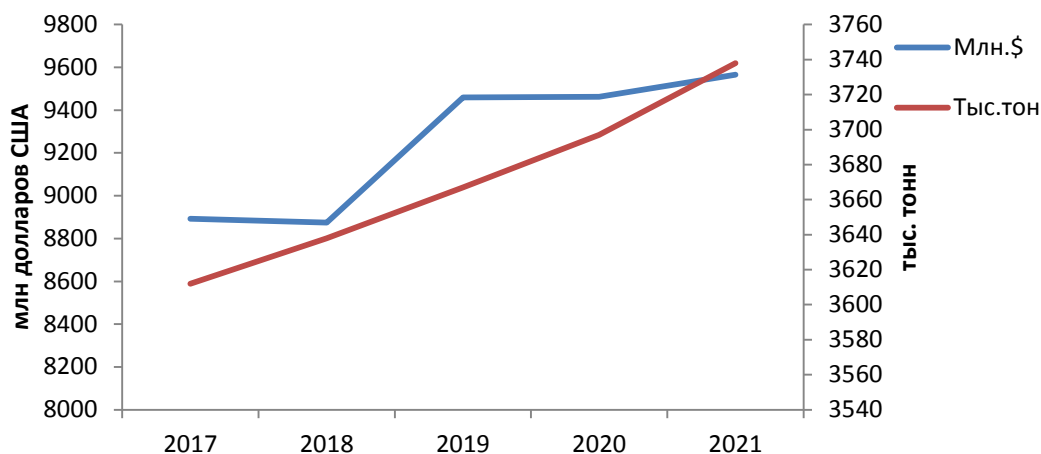


Рисунок 1.5 – Мировой рынок майонезов и майонезных соусов

В 2021 году отечественные предприятия произвели 765,2 тыс. т майонеза — примерно на 3 % больше, чем в 2020 году. В целом, в последние пять лет объемы производства стабильны — на уровне 760–780 тыс. т, лишь в 2020 году этот показатель опускался до 744 тыс. т. Основная часть произведенного в РФ продукта продается внутри страны: на экспорт уходит 10–15 %, а импортного майонеза на полках российских магазинов почти нет [94].

Потребление майонеза и майонезных соусов на душу населения в России в 2017-2019 г. остаётся на высоком уровне – 4,7-4,8 кг на человека, что выше среднего значения по миру – 1,2 кг на душу населения. По данным Росстата, около 37,7 % россиян старше 14 лет едят майонез больше одного раза в неделю, 49,8 % – хотя бы раз в месяц, и только 12,5 % потребителей практически не употребляют этот продукт [44, 95].

В наше время множество научных центров в России и за рубежом активно занимаются исследованиями в области разработки и производства функциональных соусов. Разработаны соусы на основе ферментированных соевых бобов с добавлением овощного и ягодного сырья, кукурузного крах-

мала с добавлением различных видов пищевых волокон, продуктов переработки моллюсков с добавлением овощного сырья [87, 86, 143].

В Кубанском государственном технологическом университете разработана технология многофункционального эмульсионного соус-полуфабриката на основе жирового сырья, стабилизированного яичным порошком и сухими молочными продуктами. Высокое содержание жира (до 65 %) в готовом продукте достигается добавлением растительного масла, которое диспергируется для лучшего усвоения организмом человека. Соус-полуфабрикат используется в качестве основы для приготовления различных кулинарных соусов [85].

Авторами из Высшей школы сельскохозяйственных наук Университета Тохоку Дзюнъити Такай, Ясуси Эндо, Масааки Окузаки, Кенширо Фудзимото получены и исследованы на окислительную стабильность эмульсии типа «масло в воде» с использованием лососевого масла и соевого молока или цельного яйца в качестве эмульгатора. Другими исследователями [1] изучалась эффективность различных антиоксидантов (тритерпеноидов, цитрат натрия, пропилгаллат, аскорбиновая кислота) для обеспечения стабильности майонеза, изготовленного из рыбного жира.

Однако, ассортимент майонезов и майонезных соусов для здорового питания с добавлением рыбных жиров в настоящее время очень ограничен на внутреннем рынке. Перспективной является разработка новых видов такой продукции с включением ценных ПНЖК, извлекаемых из вторичного рыбного сырья и отвечающих требованиям безопасности, предъявляемым к пищевым рыбным жирам.

1.4.2 Рыбные жиры в технических продуктах

Рыбные жиры в технических маслах и смазках. Широкое применение отходы, получаемые в жироперерабатывающей отрасли, находят в создании

основы для смазок с хорошими антиадгезионными свойствами. Основные свойства этого композиционного материала заключаются в создании нейтральной прослойки между двумя поверхностями с целью исключения сил адгезии между ними, примером служит формирование строительных конструкций между блок-формой и бетоном [89].

В патенте РФ № 2808332 авторами было рассмотрено свойство композиционной смеси, состоящей из стеариновой кислоты, касторового масла и рыбного жира, используемой для обработки металлов под давлением. Техническим результатом является обеспечение проникающей способности смазки для исключения дефектов от контакта с инструментом, а также выполнение требований шероховатости поверхности (Ra) не более 0,6 мкм [84].

Рыбный жир также может быть использован в качестве смазочного компонента для буровых растворов в нефтегазовой отрасли. Исследования показали, что он обладает отличными смазочными, противоизносными и антиприхватными свойствами, не уступая традиционным смазочным реагентам [88, 89].

Кроме того, было установлено, что смазочные добавки на основе природных веществ, таких как растительные масла, животные и рыбные жиры, а также жиросодержащие отходы, соответствуют требованиям экологической безопасности материалов, используемых в бурении, особенно при освоении морских месторождений [88].

Таким образом, использование рыбного жира в роли компонента для получения смазочных материалов, применяемых в различных отраслях техники, является актуальным.

Рыбные жиры в качестве источника углерода при получении полигидроксиалканоатов микробным синтезом. Полигидроксиалканоаты (ПГА) представляют собой полимерные композиции гидроксипроизводных алкановых кислот, которые синтезируются микроорганизмами. В настоящее время они вызывают большой интерес наряду с полилактидами и полигликолида-

ми, так как относятся к биоразлагаемым и термопластичным полимерам. Они имеют хорошую биологическую совместимость, в большинстве случаев не подвержены химическому гидролизу, с возможностью регулирования свойств конечного полимера от набора и соотношения входящих в состав мономеров [23,24,25].

В зависимости от размера и длины углеродных цепей, ПГА делят на три группы: короткоцепочечные (от 3 до 5 атомов углерода), среднецепочечные (от 6 до 14 атомов углерода), длинноцепочечные (от 15 и выше атомов углерода). Систематизировать ПГА можно также по составу: однокомпонентные (один тип мономеров входящие в состав ПГА) и многокомпонентные [123].

Физико-химические свойства ПГА напрямую зависят от структуры мономеров, условий, в которых выращивается культура, вида бактерий и количества атомов углерода в мономере. Одной из основных характеристик ПГА является их нерастворимость в воде. Однако ПГА обладают способностью тонуть в воде, что способствует их биodeградации в отсутствии кислорода [123].

ПГА растворимы в химических растворителях, содержащих атомы галогена, таких как хлороформ, дихлорметан и дихлорэтан. В целом, физико-химические свойства ПГА делают его уникальным и многообещающим материалом для использования в различных областях, включая медицину, инженерию и многие другие области [123, 163].

Нетоксичные свойства ПГА позволяют использовать их в некоторых областях медицины, создавая различные биоматериалы [123].

В настоящее время изученные свойства ПГА позволяют сказать о 100 % биоразрушаемости данных полимеров. Синтез ПГА происходит различными микроорганизмами в специальных условиях несбалансированного роста, при большом избытке источников углерода и дефиците других химических веществ (фосфора, азота, серы и других). В конечном этапе биоразло-

жения ПГА деградируют до углекислого газа и воды в условиях доступа кислорода, и до метана при анаэробных условиях [18,113].

Список микроорганизмов, которые могут осуществлять синтез ПГА насчитывает более 300 видов. В промышленном производстве используют такие штаммы как *Methylobacter*, *Cupriavidus*, *Ralstonia*, и др., способные в большом количестве накапливать ПГА – до 90 % сухой биомассы [23,24,164].

В настоящее время большой интерес в качестве источника углерода в синтезе ПГА вызывают различные масла и жиры, в особенности отходы пищевых производств, содержащие большое количество липидов. Использование жиросодержащего вторичного сырья сильно удешевляет стоимость субстрата и синтеза, в отличие от использования углеводов [25].

На примере штамма *R. eutropha*, изученного на субстрате с большим содержанием жиров, было показано, что синтез ПГА сильно связан с метаболизмом липидов, при этом используются длинноцепочечные насыщенные жирные кислоты [157].

Недавно обнаруженный штамм бактерий *Salinivibrio* sp, M318, полученный из молотых креветок, показал возможность синтеза поли(3-гидроксibuтирата) (П(3ГБ)) из рыбного жира. Эксперименты по культивированию в течении 48 часов с добавлением рыбного жира 30 г/л показали рост биомассы до 5,76 г/л, при этом содержание П(3ГБ) составило 8,15 % от массы самих микроорганизмов. Это говорит об эффективности использования рыбного жира в синтезе ПГА.

Эксперимент с использованием штамма *Ralstonia* sp, M91 при аналогичных условиях, но при содержании рыбного жира 15 г/л показал возможность получения сухой биомассы П(3ГБ) в количестве 61,95 % от массы культуры [165].

Приведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования рыбного жира, не советующего по качественным характери-

кам пищевым целям, в качестве доступного источника углерода в синтезе и производстве биоразлагаемых пластиков.

Рыбные жиры как сырье для производства биотоплива. Производство биодизельного топлива относится к актуальным направлениям использования некондиционных рыбных жиров. Биодизельное топливо является альтернативным источником энергии, его особенность заключается в экологической чистоте, возможности его производства из возобновляемых ресурсов и безопасности в эксплуатации [71, 99].

Биодизель – это смесь эфиров жирных кислот, которые образуются в результате реакции переэтерификации триацилглицеридов с одноатомными спиртами (метанол, этанол и др.) под действием катализатора. Реакция переэтерификации жира этанолом в присутствии катализатора (серная кислота) протекает в три стадии с распадом триацилглицеридов и образованием диацилглицеридов, после чего моноацилглицеридов и, наконец, с расщеплением последних с образованием этиловых эфиров жирных кислот и глицерина [39] (рисунок 1.6).

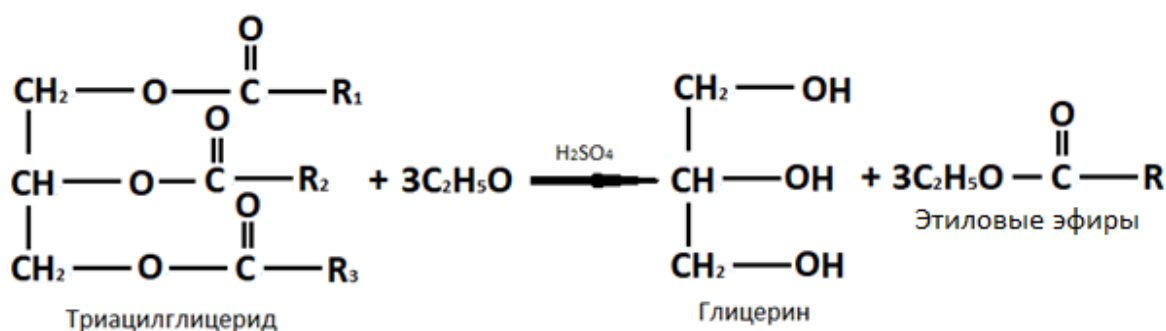


Рисунок 1.6 – Реакция переэтерификации [39]

Биодизельное топливо готово к эксплуатации в обычных двигателях внутреннего сгорания как в чистом виде, так и в смесях с минеральным дизельным топливом. Рекомендуемое соотношение составляет 20 % биодизеля к 80 % минерального дизеля [49].

Биодизель по энергетическому потенциалу идентичен минеральному дизельному топливу, содержание серы и ароматических соединений в нем менее 0,001 %, тогда как в минеральном топливе – менее 0,2 %. Попадая в окружающую среду, биодизель способен разлагаться в течение месяца на безвредные химические соединения. Данный вид топлива безопасен для транспортирования и использования, так как обладает более высокой температурой воспламенения – свыше 100 °С против 55 °С для минерального дизельного топлива [26].

При использовании биодизеля происходит снижение выбросов не полностью окисленных углеводородов, снижение выброса оксида углерода, а также твердых примесей. Цетановое число (показатель скорости сгорания дизельного топлива и компрессии, необходимой для воспламенения), составляет не менее 51, когда для минерального аналога находится в диапазоне 42-45. Высокое цетановое число свидетельствует об отсутствии необходимости применения присадок, стимулирующих воспламенение [63].

Российскими учеными проводились исследования по получению биодизеля из рыбного сырья, например, Мукатовой М.Д. и Чан Т.Н. в Астраханском государственном техническом университете получено биотопливо из рыбного жира. Основные этапы технологии включали нейтрализацию рыбного жира щелочью до кислотного числа 0,7 мг КОН/г, промывку 10 % соевым раствором и водой температурой 90-95 °С в течение 90 минут, переэтерификацию с 25 % этанола и 0,75 % сухого NaOH, взятыми от массы исходного сырья [78].

В патенте РФ № 2404230 [79] была исследована технология получения биодизеля из мезопелагических рыб – анчоуса черноморского. В этом способе использовали раствор протеолитического фермента (бактериальная протеаза) в соотношении 10 Ед. на 1 г биомассы. После окончания гидролиза (30-40 мин) масса переносилась в центрифугу для отделения жира. В жир вносили раствор, содержащий 25-35 % метилата калия в метаноле 0,1:1. Получен-

ную смесь помещали в колбу с обратным холодильником, нагревали при постоянном перемешивании при температуре 60 °С в течение 45-60 мин. Полученная реакционная связь делилась на два слоя: в верхнем находился биодизель с метанолом, в нижнем – вода с глицерином. Биодизель очищали отгонкой и промывкой.

В патенте [80] Боевой Н.П. разработана технология получения биодизеля, заключающаяся в поэтапной обработке рыбного сырья. Подготовка сырья осуществляется с помощью рафинации. На подготовительном этапе рыбный жир смешивают с абсолютизированным этанолом или метанолом в соотношении 1:2-1:5. Следующий этап включает реакцию переэтерификации в течение 20-60 мин, при температуре, не превышающей 40 °С с внесением серной кислоты 2-10 % от массы сырья. На третьем этапе смесь доводится до температуры кипения и выдерживается 60-480 мин. На четвёртом этапе смесь разделяют на эфиры жирных кислот и глицерин. Смесь эфиров жирных кислот нейтрализуют щелочью, промывают и отделяют примеси с помощью центрифугирования. Полученное топливо обезвоживают и очищают.

Таким образом, получение биотоплива из жира вторичного рыбного сырья Калининградской области видится актуальным направлением исследований.

Заключение по обзору литературы

Анализ научно-технической литературы подтверждает высокий потенциал рыбных липидов для использования их в различных отраслях промышленности. Вторичное рыбное сырье является недоиспользованным жиросодержащим ресурсом, переработка которого позволит получать ценные жировые продукты пищевого и технического назначения.

Среди различных способов извлечения жира из рыбного сырья наибольший интерес представляет биотехнологический с использованием

ферментных препаратов протеолитического действия, обеспечивающих наиболее полное извлечение жира из сырья. Жир, полученный из вторичного копченого рыбного сырья и содержащий токсичные для человека полициклические ароматические углеводороды, перспективно использовать на пищевые цели с предварительным очищением от ПАУ применением в качестве сорбента активированного угля.

Рыбные жиры, в том числе, полученные из вторичного сырья, являются богатыми источниками ПНЖК омега-3 ряда, оказывающих многостороннее благоприятное действие на организм человека, а потому могут находить применение в составе обогащенных пищевых продуктов.

Литературный анализ рынка пищевых жиросодержащих продуктов позволил установить наиболее перспективную группу эмульсионной продукции (майонезов и майонезных соусов) для создания нового ассортимента обогащенных рыбными полиненасыщенными кислотами продуктов функционального уровня.

Перспективным направлением использования непригодных по показателям безопасности для пищевого применения рыбных жиров является техническая сфера. Актуально усовершенствовать технологию биотоплива из рыбных жиров пониженного качества с получением биодизеля и обосновать рациональность его использования.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Схема исследований

Исследования были проведены в период с 2020 по 2024 гг. на базе лабораторий кафедр пищевой биотехнологии, водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ», научно-исследовательской лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия), в испытательной лаборатории ООО «КИЦ» (г. Калининград), в Центральной химической лаборатории ВПУ Калининградской ТЭЦ-2 (г. Калининград).

Программно-целевая схема исследований представлена на рисунке 2.1. Определяемые показатели по схеме: 1 – массовая доля белка; 2 – массовая доля влаги; 3 – массовая доля жира; 4 – массовая доля минеральных веществ; 5 – кислотное число; 6 – перекисное число; 7 – выход жира; 8 – содержание ПАУ; 9 – йодное число; 10 – число омыления; 11 – тиобарбитуровое число; 12 – содержание влаги и примесей нежирового характера; 13 – содержание неомыляемых веществ; 14 – органолептические показатели жира; 15 – жирнокислотный состав; 16 – стойкость эмульсии; 17 – эффективная вязкость; 18 – микробиологические показатели; 19 – органолептические показатели эмульсионного соуса; 20 – кислотное число биодизеля; 21 – вязкость биодизеля; 22 – температура вспышки; 22 – массовая доля механических примесей; 23 – содержание влаги в биодизеле; 24 – содержание золы в биодизеле; 25 – содержание водорастворимых кислот и щелочей.

2.2 Объекты исследования

Исходя из поставленных целей и задач диссертационной работы, в качестве объектов исследования были выбраны: жиросодержащее вторичное рыбное сырье (головы, хребты скумбрии атлантической и головы балтийской кильки горячего копчения), технология получения из него рыбного жира

биотехнологическим способом, а также пищевой и технический продукты на основе жиров – эмульсионный соус и биодизель.

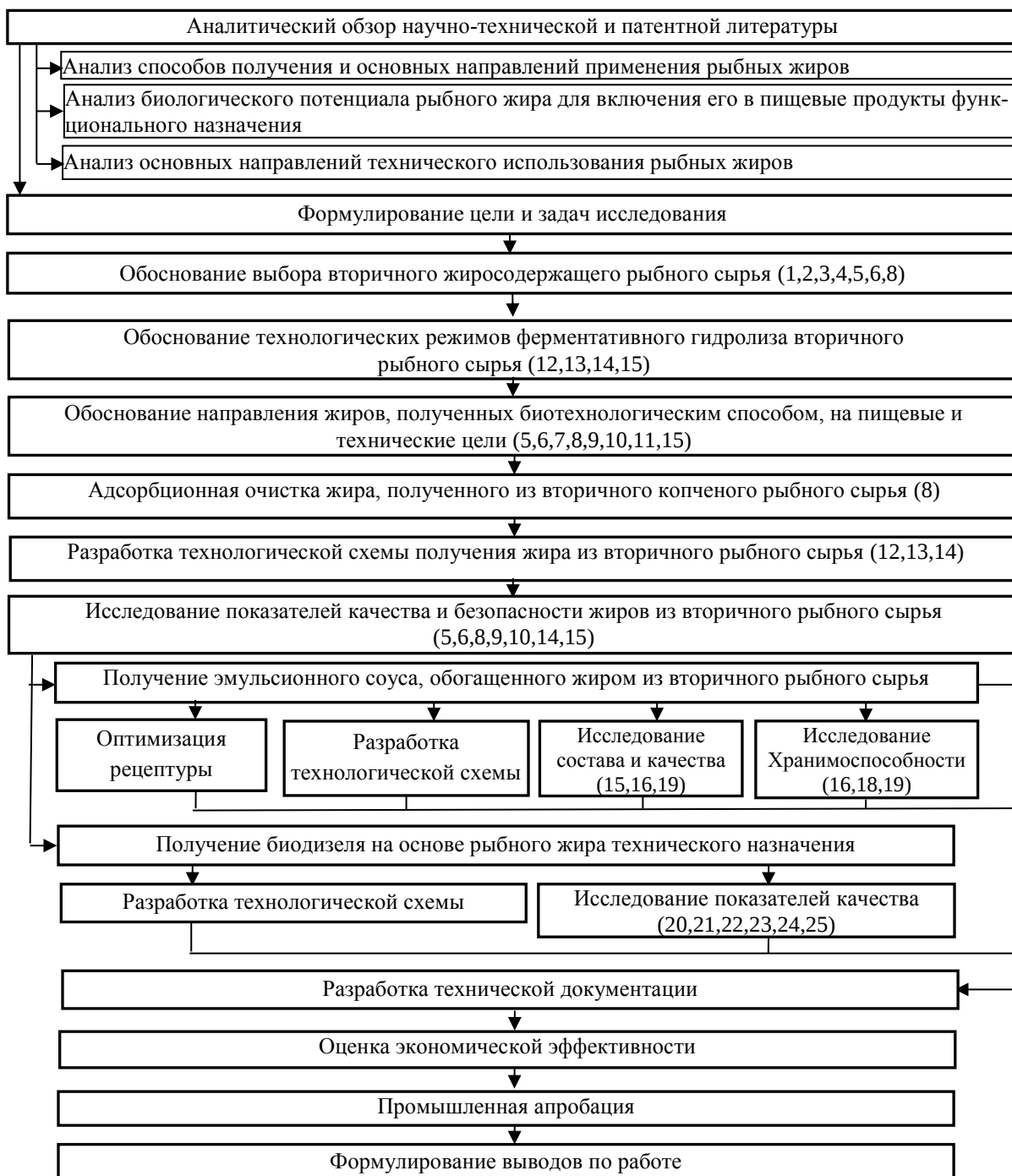


Рисунок 2.1 – Структурная схема исследований

В среднем объем производства рыбы и рыбопродуктов в Калининградской области оценивается в 359 тыс. т в год, где количество вторичного сырья достигает до 50 %. Утилизация вторичного рыбного сырья является важ-

ной проблемой рыбоперерабатывающей отрасли. Наибольшие затруднения связаны с использованием высокожирного сырья, поскольку рыбный жир отличается нестабильностью и подверженностью окислительной порче при хранении. Однако своевременное сохранение такого вторичного сырья и правильный подход к технологии его использования открывает широкие перспективы для создания продукции как пищевого, так и технического назначения, для которой полиненасыщенная природа рыбного жира играет положительную роль.

*Скумбрия атлантическая или обыкновенная (*Scomber scombrus*)* принадлежит к семейству скумбриевых, крупные представители достигают длины в 67 см, средние – 30 см. Является стайной теплолюбивой пелагической рыбой и широко распространена в водах Северной Атлантики. Максимальная масса – до 1,5 кг, в среднем – 400-600 г. Для выделения жира использовали вторичное сырье скумбрии – головы и хребты, – полученное с рыбоперерабатывающих предприятий Калининградского региона. Ежедневно такое сырье образуется на предприятиях в количестве до 10-12 т. Сырье принимали в соответствии с ТУ 10.20.42-035-00471544-2024 «Субпродукты рыбы жиросодержащие» (Приложение Б).

*Килька балтийская (*Sprattus sprattus balticus*)* относится к виду морских рыб семейства сельдевых. Обитает в Балтийском и Чёрном морях, также населяет Северное и Норвежское моря. Длина тела – 13-15 см, масса тушки – 10-12 г. Балтийская килька является важным промысловым объектом Калининградской области, на территории которой из нее изготавливается популярный вид консервированной продукции «Шпроты в масле». При производстве такой продукции уже после копчения рыбы удаляются головы, которые составляют 10-12 % от массы целой рыбы. Копченые головы не могут использоваться на кормовые цели, а поэтому их утилизация создает проблему для рыбоперерабатывающих производств. Ежесуточное количество таких от-

ходов может достигать 8-10 т. Сырье принимали в соответствии с ТУ 10.20.42-035-00471544-2024.

2.3 Методы исследования

2.3.1 Анализ рыбного сырья и оптимизация процесса выделения жира

Отбор средних проб, подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31339-2006 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб».

Определение общего химического состава вторичного рыбного сырья проводилось стандартными методами в соответствии с ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». Определение массовой доли влаги – термогравиметрическим методом; массовой доли белка – по методу Кьельдаля; массовой доли жира – по методу Сокслета; массовой доли золы – сжиганием навески в муфельной печи при температуре 600 °С.

Выделение жира из вторичного рыбного сырья осуществлялось биотехнологическим способом с помощью ферментативного гидролиза рыбного сырья протеолитическими ферментными препаратами. Использовали три вида коммерческих протеаз: алкалаза (Alcalase), протозим и протосубтилин.

Характеристика ферментных препаратов представлена в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Характеристика ферментных препаратов

Ферментный препарат	Описание	Заявленная протеолитическая активность	Оптимальные условия
Alcalase 2,5 L	Жидкий препарат высокоэффективной бактериальной протеазы, полученной из микроорганизма <i>Bacillus licheniformis</i> . Производитель Novozymes, Дания	2,5 AU/г	Температура от 55 до 70 °С рН – от 6,5 до 8,5

Продолжение таблицы 2.1

Протозим	Сухой ферментный препарат бактериальной протеазы, полученный из селекционного штамма <i>Bacillus licheniformis</i> . Производитель «Биопрепарат», Россия	50 000 (ед./г)	Температура от 55 до 65 °С, pH – от 6,0 до 10,0
Протосубтилин	Сухой ферментный препарат бактериального происхождения, полученный при глубинном культивировании штаммов <i>Bacillus subtilis</i> . Производитель «Сиббиофарм», Россия	120 ПС/г	Температура от 45 до 50 °С, pH – от 7,5 до 8,0

При выделении жира осуществляли измельчение сырья волчке с диаметром отверстий решетки от 3 до 5 мм, после чего вносили воду в количественном соотношении по массе 1 часть воды к 1 части сырья и ферментный препарат. Ферментативный гидролиз проводили в условиях регулируемой температуры 53 ± 2 °С при постоянном перемешивании в лабораторном шейкере-инкубаторе ПЭ-6410.

По окончании гидролиза фермент инактивировали при температуре 85 °С в течение 10 минут, после чего гидролизованную массу центрифугировали с помощью центрифуги Heraeus Megafuge 1.0 R при следующих режимах: частота вращения 3500 об/мин, температура 40 °С, продолжительность 15 мин. После разделения с помощью делительной воронки из надосадочной части отделяли жир. Жир промывали горячей водой и дополнительно очищали центрифугированием.

Моделирование и оптимизацию биотехнологического процесса выделения жира осуществляли в соответствии с ортогональным центральным композиционным планом (ОЦКП) второго порядка для двух факторов: массовой доли ферментного препарата, % к массе рыбного сырья, и продолжительности ферментативного гидролиза, мин. Изменяемые факторы для вторичного сырья скумбрии и копченой кильки представлены в таблицах 2.2, 2.3.

Таблица 2.2 – Изменяемые факторы, их интервалы и предельные значения при моделировании процесса выделения жира из вторичного сырья скумбрии

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
ω – массовая доля ФП, % к массе рыбного сырья	0,1	0,5	0,9	0,4
τ – продолжительность ферментативного гидролиза, мин	30	60	90	30

Таблица 2.3 – Изменяемые факторы, их интервалы и предельные значения при моделировании процесса выделения жира из вторичного сырья копченой кильки

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
ω – массовая доля ФП, % к массе рыбного сырья	0,05	0,275	0,5	0,225
τ – продолжительность ферментативного гидролиза, мин	30	60	90	30

В качестве частных откликов были выбраны выход жира, % от общего содержания жира в сырье по Сокслету («идеальное» значение – 100 %) и перекисное число жира, ммоль активного кислорода / кг. В качестве «идеальных» значений перекисных чисел были установлены минимальные значения, полученные в данной серии экспериментов: 4,1 ммоль активного кислорода / кг для жира скумбрии и 4,5 ммоль активного кислорода / кг для жира копченой кильки. Планы экспериментов, а также данные для математической обработки приведены в таблицах 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4 – Матрица ортогонального планирования при моделировании и оптимизации выделения жира из вторичного сырья скумбрии

№ п/п	План эксперимента				Данные для математической обработки				
	ω – массовая доля ФП, % от массы рыбного сырья		τ – продолжитель- ность гидролиза, мин		X ₀	X ₁ ·X ₂	X ₁ ² - 2/3	X ₂ ² - 2/3	y
	По матрице X ₁	Натураль- ное ω	По матрице X ₂	Натураль- ное τ					
1	+1	0,9	+1	90	+1	+1	+1/3	+1/3	Y ₁
2	-1	0,1	+1	90	+1	-1	+1/3	+1/3	Y ₂
3	+1	0,9	-1	30	+1	-1	+1/3	+1/3	Y ₃
4	-1	0,1	-1	30	+1	+1	+1/3	+1/3	Y ₄
5	+1	0,9	0	60	+1	0	+1/3	-2/3	Y ₅
6	-1	0,1	0	60	+1	0	+1/3	-2/3	Y ₆
7	0	0,5	+1	90	+1	0	-2/3	+1/3	Y ₇
8	0	0,5	-1	30	+1	0	-2/3	+1/3	Y ₈
9	0	0,5	0	60	+1	0	-2/3	-2/3	Y ₉
X _{ij}	0	-	0	-	9	0	-	-	-

Таблица 2.5 – Матрица ортогонального планирования при моделировании и оптимизации выделения жира из вторичного сырья копченой кильки

№ п/п	План эксперимента				Данные для математической обработки				
	ω – массовая доля ФП, % от массы рыбного сырья		τ – продолжитель- ность гидролиза, мин		X ₀	X ₁ ·X ₂	X ₁ ² - 2/3	X ₂ ² - 2/3	y
	По матрице X ₁	Натураль- ное ω	По матрице X ₂	Натураль- ное τ					
1	+1	0,5	+1	90	+1	+1	+1/3	+1/3	Y ₁
2	-1	0,05	+1	90	+1	-1	+1/3	+1/3	Y ₂
3	+1	0,5	-1	30	+1	-1	+1/3	+1/3	Y ₃
4	-1	0,05	-1	30	+1	+1	+1/3	+1/3	Y ₄
5	+1	0,5	0	60	+1	0	+1/3	-2/3	Y ₅
6	-1	0,05	0	60	+1	0	+1/3	-2/3	Y ₆
7	0	0,275	+1	90	+1	0	-2/3	+1/3	Y ₇

Продолжение таблицы 2.5

8	0	0,275	-1	30	+1	0	-2/3	+1/3	Y_8
9	0	0,275	0	60	+1	0	-2/3	-2/3	Y_9
x_{ij}	0	-	0	-	9	0	-	-	-

Безразмерные параметры оптимизации y_i устанавливались с применением способа введения метрики, задающей близость к «идеалу» по формуле:

$$y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{ui} - y_{u0}}{y_{u0}} \right)^2, \quad (2.1)$$

где y_{ui} – значение экспериментального частного отклика;

y_{u0} – наивысшее значение i -го отклика («идеал»);

n – количество частных откликов.

Результатами реализации планов являются полиномиальные математические уравнения в кодированном и натуральном виде, описывающие функцию отклика в искомой области [67].

Благодаря ортогональности матрицы планирования коэффициенты модели определяются независимо друг от друга. Расчёт значений коэффициентов полиномиальной модели производился по следующим формулам:

$$b_0 = \sum x_0 y_i / \sum x_0^2 \quad (2.2)$$

$$b_1 = \sum x_1 y_i / \sum x_1^2 \quad (2.3)$$

$$b_2 = \sum x_2 y_i / \sum x_2^2 \quad (2.4)$$

$$b_{12} = \sum x_{12} y_i / \sum (x_1 x_2)^2 \quad (2.5)$$

$$b_{11} = \sum (x_1^2 - 2/3) y_i / \sum (x_1^2 - 2/3)^2 \quad (2.6)$$

$$b_{22} = \sum (x_2^2 - 2/3)y_i / \sum (x_2^2 - 2/3)^2 \quad (2.7)$$

Обработку полученных экспериментальных данных проводили по общепринятому алгоритму для ОЦКП. После математического преобразования получали зависимости, по которым оптимизировали исследуемые процессы. Значения оптимальных факторов получали методом дифференцирования натуральных математических моделей с последующим решением полученных уравнений. Проверку адекватности полученного в кодированном виде уравнения проводили по критерию Фишера (F-критерию) путем сравнения его расчетного значения с табличным.

Обработку данных осуществляли в программном пакете Excel Microsoft office 2013.

2.3.2 Адсорбционная очистка жира из копченого рыбного сырья

Адсорбционную очистку рыбного жира проводили с помощью сорбента – активированного порошкообразного угля CARBOCLEAN-SUN-K (Уралхимсорб, Россия), полученного из древесины березы и предназначенного для осветления и дезодорации пищевых масел и жиров. Характеристики сорбента представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Физико-химические показатели активированного угля CARBOCLEAN-SUN-K

Наименование показателя, единицы измерения	Значение
Адсорбционная активность по йоду, %, не менее	70
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г, не менее	2
Насыпная плотность, г/дм ³ , не более	280
Основной размер частиц, мкм	65-315
Массовая доля влаги, %, не более	10

При проведении очистки жир подогревали до 50 ± 2 °С, после чего в него вносили при перемешивании активированный уголь из расчета 1 % к массе жира. Продолжительность контакта жира с сорбентом составляла 40-45 мин, после этого сорбент отделяли центрифугированием.

2.3.3 Исследование показателей качества, безопасности и физиологической эффективности рыбных жиров

Органолептическая оценка рыбного жира проводилась по ГОСТ 8714-2014 «Жир пищевой из рыбы и водных млекопитающих. Технические условия».

Показатели, характеризующие свойства и качество жиров (кислотное число, перекисное число, йодное число, число омыления, содержание неомыляемых веществ, содержание влаги и примесей нежирового характера) определяли стандартными методами в соответствии с ГОСТ 7636-85.

Тиобарбитуровые числа жиров определяли по методу, основанному на образовании розового комплекса с сильным поглощением при 532-535 нм, при взаимодействии тиобарбитуровой кислоты и продуктов окисления ненасыщенных жирных кислот. В коническую колбу отвешивали с абсолютной погрешностью не более 0,001 г 2 г жира и прибавляли 40 см³ 0,5 н раствора соляной кислоты и 15 см³ 20 %-ного раствора трихлоруксусной кислоты. Содержимое колбы встряхивали в течение 15 минут. Затем с помощью делительной воронки отделяли водную фракцию, 15 см³ которой помещали в коническую колбу с пришлифованной пробкой. В эту же колбу прибавляли отмеренные с помощью мерной пипетки 5 см³ 0,5 %-ного раствора тиобарбитуровой кислоты. Содержимое колбы нагревали на водяной бане в течение 30 минут. Параллельно готовили контрольный образец. Оптическую плотность опытного раствора измеряли с помощью спектрофотометра ПЭ-5400 при

длине волны 535 нм против контрольного раствора. Результат измерения выражается в единицах оптической плотности [116].

Жирнокислотный состав рыбных жиров устанавливали методом газовой хроматографии с идентификацией жирных кислот спектрофотометрическим методом. Пробоподготовка заключалась в гидролизе триглицеридов жира триметилсульфонийгидроксидом и получении метиловых эфиров жирных кислот. Разделение эфиров осуществляли на газовом хроматографе Hewlett Packard GC-System HP 6890 Series при следующих параметрах: стационарная фаза – SP 2380 (30000×0,25 мм), подвижная фаза – гелий. Температура инжектора составляла 250 °С. Количественное определение жирных кислот осуществляли с помощью массового спектрометра Agilent Technologies GC/MS 5975.

Определение содержания полициклических ароматических углеводородов в рыбном жире (бенз(а)пирен, бензо(б)флуорантен, бенз(а)антрацен, хризен) осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии путем измерения флуоресценции при различных длинах волн возбуждения и эмиссии.

Предварительно жиры омыляли в присутствии метанольного раствора гидроксида калия и стандартного раствора бензохризена в ультразвуковой ванне при 60 °С в течение 30 минут. Затем раствор пропускали через делительную воронку с нутчевым фильтром и добавляли циклогексан. После взбалтывания верхнюю фазу сливали в отдельную емкость, с нижней фазой повторяли операцию экстрагирования несколько раз. Циклогексановые экстракты объединяли и промывали раствором метанол-вода.

Циклогексановый раствор упаривали на роторном испарителе при максимальной температуре водяной бани 40 °С, добавляли к упаренному концентрату 1 %-ый раствор хлорида натрия, циклогексан, встряхивали и повторно упаривали на роторном испарителе. Полученный таким образом экстракт очищали на заполненной силикагелем хроматографической колонке.

Высокоэффективная жидкостная хроматография по определению ПАУ осуществлялась на хроматографической системе Shimadzu LC-9A HPLC с диодно-матричным детектором Shimadzu SPD-M20A при следующих параметрах: стационарная фаза – обращенно-фазовая колонка октадецил-(C18), размер колонки 250×4,0 мм; температура термостатирования колонки – 20 °С; подвижная фаза – градиентная элюция ацетонитрил, ацетонитрил/вода (50/50); расход растворителя 2 мл/мин. Объем вводимой пробы составлял 20 мкл.

Содержание тяжелых металлов, пестицидов и полихлорированных бифенилов определяли на базе аккредитованной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр»: свинца и кадмия – по ГОСТ 30178-96, мышьяка – по ГОСТ Р 51766-2001, ртути – по ГОСТ 26927 п. 2, ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов и полихлорированных бифенилов – в соответствии с МВИ. МН 2352-2005.

Для характеристики *физиологической эффективности рыбных жиров* использовали ряд коэффициентов и показателей, разработанных отечественными и зарубежными учеными [8, 110, 107].

Коэффициент жирнокислотной сбалансированности определяли по формуле:

$$R_L = \left(\prod_{i=1}^3 d_{Li} \right)^{1/6} \quad (2.8)$$

где $d_{Li} = L_i/L_{эi}$, если $L_i \leq L_{эi}$ и $d_{Li} = (L_i/L_{эi})^{-1}$, если $L_i > L_{эi}$;

R_L – коэффициент жирнокислотного соответствия, дол. ед.;

L_i – массовая доля i -ой жирной кислоты в сырье, г/100 г жира;

$L_{эi}$ – массовая доля i -ой жирной кислоты, соответствующая физиологически необходимой норме (эталону), г/100 г жира;

$i = 1$ соответствует $\sum$ НЖК; $i = 2$ – $\sum$ МНЖК; $i = 3$ – $\sum$ ПНЖК

Коэффициент биологической эффективности ($BЭ$) рассчитывали по формуле:

$$BЭ = \frac{\sum \text{ПНЖК}}{\sum \text{НЖК}}, \quad (2.9)$$

где: $\sum \text{ПНЖК}$ – общее содержание полиненасыщенных жирных кислот в липидах, %;

$\sum \text{НЖК}$ – общее содержание насыщенных жирных кислот, %.

Определение пищевых индексов качества липидов проводили согласно Ulbricht, Southgate, 1991; Chen, Liu, 2020, Kocatepe, et. fl., 2019. Показатель атерогенности (IA), свидетельствующий об атерогенном потенциале жира, то есть способности участвовать в формировании холестериновых бляшек на стенках сосудов, и тромбогенности (IT), показывающий тромбогенный потенциал жира, то есть его влияние на свертываемость крови и формирование тромбов, рассчитывали по формулам 2.10 и 2.11 соответственно.

$$IA = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum \text{ПНЖК}_{n-6} + \sum \text{ПНЖК}_{n-3} + \sum \text{МНЖК}}, \quad (2.10)$$

где $C_{12:0}$, $C_{14:0}$, $C_{16:0}$ – массовые доли лауриновой, миристиновой и пальмитиновой кислот соответственно, %;

$\sum \text{ПНЖК}_{(n-6)}$ – сумма массовых долей ПНЖК омега-6 кислот, %;

$\sum \text{ПНЖК}_{(n-3)}$ – сумма массовых долей ПНЖК омега-3 кислот, %;

$\sum \text{МНЖК}$ – сумма массовых долей МНЖК, %.

$$IT = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \text{МНЖК} + 0.5 \times \text{ПНЖК}_{n-6} + 3 \times \text{ПНЖК}_{n-3} + \frac{\text{ПНЖК}_{n-3}}{\text{ПНЖК}_{n-6}}}, \quad (2.11)$$

где $C_{14:0}$, $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ – массовые доли, миристиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот соответственно, %;

ПНЖК_(n-6) – массовая доля ПНЖК омега-6, %;

ПНЖК_(n-3) – массовая доля ПНЖК омега-3, %.

Гипопохолестеринемический показатель (H/H), определяющий влияние жира на общий уровень холестерина в крови, определяли по формуле:

$$H/H = \frac{\text{ПНЖК}_{n-3} + \text{ПНЖК}_{n-6} + C_{18:1}}{C_{14:0} + C_{16:0}} \quad (2.12)$$

Общий индекс качества липидов (FLQ), характеризующий общее диетическое значение жира и его потенциальное влияние на развитие сердечно-сосудистых заболеваний, рассчитывали по формуле:

$$FLQ = \frac{100 \times (E + D)}{TFA}, \quad (2.13)$$

где E – массовая доля ЭПК, %;

D – массовая доля ДГК, %;

TFA – общее количество жирных кислот, %.

2.3.4 Получение и исследование качества эмульсионного соуса, обогащенного жиром из вторичного рыбного сырья

Эмульсионный соус, в составе которого были апробированы рыбные жиры, получали в соответствии с базовой технологией и стандартной рецептурой майонеза «Провансаль» на основе подсолнечного масла. Часть подсолнечного масла была заменена на рыбный жир, в качестве эмульгирующих и стабилизирующих добавок использовали ингредиенты, представленные в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Характеристика добавок, используемых в качестве эмульгаторов и стабилизаторов для пищевой эмульсии

Добавка	Описание	Производитель
Яичный порошок	Желток яиц куриных пищевых, прошедший процесс фильтрации, гомогенизации, пастеризации, охлаждения и сушки на вертикальных сушильных установках.	Агрофирма солнечная, Россия
Молоко сухое	Растворимый порошок, полученный высушиванием нормализованного пастеризованного коровьего молока.	Здоровая семья, Россия
Пектин яблочный	Пектин яблочный, образованный остатками поли- α -(1-4)-галактуроновой кислоты, полученный кислотной экстракцией.	С.ПУДОВЪ, Россия
Хитозан	Аминополисахарид, состоящий из β -(1 $\rightarrow$ 4)-связанных остатков D-глюкозамина, а также N-ацетил-D-глюкозамина. Получен путём деацетилирования хитина, который является структурным элементом экзоскелета ракообразных.	Shellight Китай
Каррагинан	Линейный сульфатный полисахарид, получаемый из красных морских водорослей, состоящий из субъединиц галактозы и 3,6-ангидрогалактозы. Производится путём обработки щёлочью, с последующим отделением целлюлозы и высушиванием с измельчением.	Molecularmeal, Китай
Ксантановая камедь	Получена ферментацией глюкозы, сахарозы или лактозы с использованием бактерий <i>Xanthomonas campestris</i> . Представляет собой полисахарид, главная цепь которого состоит из остатков β -D-глюкопиранозы, соединённых между собой 1,4-гликозидной связью, трисахаридные боковые цепи присоединены к C-3 атому каждого второго глюкозного остатка.	Molecularmeal, Китай

Эмульсионный соус готовился в пищевой посуде с использованием погружного блендера RED solution RHB-2908. Максимальные обороты 8000 об./мин., температура варочной поверхности 80-85 °С.

Органолептическая оценка эмульсионных соусов осуществлялась в соответствии с разработанной 100-бальной шкалой (Приложение В), с учётом

коэффициентов значимости, специальной подготовленной комиссией. В соответствии со шкалой при учете коэффициентов весомости уровень качества продукции оценивался следующим образом: «отличное» – 100-91 баллов; «хорошее» – 90-80 баллов; «удовлетворительное» – 79-60 баллов; «неудовлетворительное» – менее 60 баллов.

Общий химический состав эмульсионных продуктов определяли стандартными методами в соответствии с ГОСТ 31762-2012 «Майонезы и соусы майонезные. Правила приемки и методы испытаний». Определение массовой доли влаги – термогравиметрическим методом; массовой доли белка – по методу Кьельдаля; массовой доли жира – по методу Сокслета; массовой доли золы – сжиганием навески в муфельной печи при температуре 600 °С.

Стойкость эмульсии определяли в соответствии с ГОСТ 31762-2012.

Эффективную вязкость эмульсионного соуса определяли с помощью ротационного вискозиметра Брукфильд DV-E.

Моделирование и оптимизацию рецептуры эмульсионных продуктов осуществляли в соответствии с ОЦКП второго порядка для двух факторов: массовой доли яичного порошка, % к массе жировой фракции, и массовой доли рыбного жира, % от общей массы жировой фракции, по алгоритму, описанному в разделе 2.3.1. Изменяемые факторы указаны в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Изменяемые факторы, их интервалы и предельные значения при моделировании рецептуры эмульсионного соуса

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
$\omega_{\text{яп}}$ – массовая доля яичного порошка, % к массе жировой фракции	3	4,5	6	1,5
$\omega_{\text{ж}}$ – массовая доля рыбного жира, % к массе жировой фракции	18	21	24	3

В качестве частных откликов были выбраны: стойкость эмульсии («идеальное» значение частного отклика 100) и эффективная вязкость, измеренная на ротационном вискозиметре Брукфильд («идеальное» значение частного отклика 60 Пз, что соответствует вязкости стандартного майонеза «Провансаль» жирностью 60 %).

План эксперимента в соответствии с матрицей ОЦКП второго порядка для двух факторов, а также данные для математической обработки приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Матрица ортогонального планирования при моделировании и оптимизации рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром

№ п/п	План эксперимента				Данные для математической обработки				
	$\omega_{\text{ж}}$ – массовая доля рыбного жира, % от общей массы жировой фракции		$\omega_{\text{яп}}$ – массовая доля яичного порошка, % к массе жировой фракции		X_0	$X_1 \cdot X_2$	$X_1^2 - 2/3$	$X_2^2 - 2/3$	y
	По матрице X_1	Натуральное $\omega_{\text{ж}}$	По матрице X_2	Натуральное $\omega_{\text{яп}}$					
1	+1	24	+1	6	+1	+1	+1/3	+1/3	Y_1
2	-1	18	+1	6	+1	-1	+1/3	+1/3	Y_2
3	+1	24	-1	3	+1	-1	+1/3	+1/3	Y_3
4	-1	18	-1	3	+1	+1	+1/3	+1/3	Y_4
5	+1	24	0	4,5	+1	0	+1/3	-2/3	Y_5
6	-1	18	0	4,5	+1	0	+1/3	-2/3	Y_6
7	0	21	+1	6	+1	0	-2/3	+1/3	Y_7
8	0	21	-1	3	+1	0	-2/3	+1/3	Y_8
9	0	21	0	4,5	+1	0	-2/3	-2/3	Y_9
X_{ij}	0	-	0	-	9	0	-	-	-

Оценку хранимостпособности эмульсионного соуса осуществляли с использованием общепринятых микробиологических методов. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов

(КМАФАнМ) определяли по ГОСТ 10444.15-94, количество плесеней и дрожжей – по ГОСТ 10444.12-2013, количество бактерий группы кишечных палочек (БГКП) – по ГОСТ 31747-2012, бактерий рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012, *Listeria monocytogenes* – по ГОСТ 32031-2022, *Staphylococcus aureus* – по ГОСТ 31746-2012, бактерий рода *Proteus* – по ГОСТ 28560-90.

В качестве контрольного образца исследовали хранимоспособность соуса, изготовленного по классической рецептуре майонеза «Провансаль», упакованного, как и опытные образцы, в упаковку зип-лок (ГОСТ 12302-2013) объёмом 200 мл, с последующим удалением воздуха.

Исследовали рост микробиологических показателей образцов разработанного и контрольного соусов в различных условиях хранения: при температуре холодильной камеры 4 ± 2 °С и комнатной температуре 20 ± 2 °С.

2.3.5 Получение и исследование показателей качества биодизеля

Биодизель из рыбных жиров получали по технологии, предусматривающей нейтрализацию свободных жирных кислот жира, промывку, переэтерификацию с этиловым спиртом в присутствии серной кислоты при 75-80 °С в течение 6-8 ч, последующее разделение реакционной смеси и очистку продукта.

Кислотное число биодизеля определяли по ГОСТ 32327-2022. Для этого биодизель растворяли в смеси толуола и 2-пропанола и титровали потенциометрически спиртовым раствором гидроксида калия, используя стеклянный индикаторный электрод и электрод сравнения или комбинированный электрод. Определение производилось на автоматическом потенциометрическом титраторе для определения кислотного и щелочного числа в нефтепродуктах НК-1060.

Вязкость при 20°С определяли по разработанной Американским обществом испытаний и материалов (ASTM) методике ASTM D 445-15 или ГОСТ

33-2016 путем измерения времени истечения жидкого объема под действием силы тяжести через калиброванный капилляр стеклянного кинематического вискозиметра SI Analytics 501 00.

Температуру вспышки определяли на автоматическом аппарате закрытого типа Пенски-Мартенса по методике ASTM D 93-15 или ГОСТ 6356-75 в диапазоне температур от 40 до 350 °С. Показатели определялись на оборудовании ВЛС-93 под управлением микрокомпьютера.

Массовую долю механических примесей определяли по ГОСТ 6370-2018, по методике растворения топлива в бензине или толуоле, взятым в 2-4-х кратном объеме от объема образца, с дальнейшей фильтрацией на взвешенной фильтровальной бумаге, последующим высушиванием и взвешиванием. По разности масс определяли количество механических примесей.

Содержание воды определяли по ГОСТ 2477-65 с помощью аппарата ВН-ПХП по методике, основанной на отгонке с последующей конденсацией паров. Образец и такой же объем растворителя (выбираемый в зависимости от точки кипения по стандарту) помещали в колбу, доводили до кипения и в течение 30-60 мин производили дистилляцию. Перегонку завершали после прекращения увеличения объема воды в приемнике-ловушке и получения абсолютно прозрачного верхнего слоя растворителя. Воду собирали со стенок ловушки и взвешивали.

Для определения *зольности* по ГОСТ 34193-2017 образец поджигали в подходящем сосуде и сжигали до образования золы и углеродистого остатка. Углеродистый остаток превращали в золу при нагревании в муфельной печи при температуре 775 °С, затем охлаждали и взвешивали. По отношению масс определяли процентное соотношение золы.

Водорастворимые кислоты и щелочи определяли титрованием по ГОСТ 6307-75. Испытуемый образец и такой же объем дистиллированной воды нагревали до 50-60 °С, взбалтывали 5 мин, после удаляли воду и делили на два равных объема. Для контроля брали два равных объема проб дистил-

лированной воды и в каждый приливали индикатор, после визуально сравнивали. Отличие цветов свидетельствовало о наличие водорастворимых кислот и щелочей.

Испытание на медной пластинке проводили по ГОСТ 6321-92 или ASTM D 975. Отшлифованную медную пластинку погружали в испытуемый образец, нагреваемый при температуре 50 °С в течение 180 мин. Процесс нагревания происходил в специальной химически чистой и сухой испытательной пробирке размерами 25x150 мм. После нагревания медную пластинку вынимали, промывали и определяли ее цвет и степень тусклости сравнением с эталоном ASTM D 975 по определению коррозии медной полоски.

2.3.6 Статистическая обработка результатов исследований

Статистическую обработку данных проводили методами регрессионного анализа с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Office (Microsoft Excel 2013) и Statistica 6.0 при 95 %-ном доверительном уровне с использованием критерия Стьюдента.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Обоснование выбора вторичного жиросодержащего рыбного сырья

В качестве сырья для извлечения жира было исследовано вторичное сырье скумбрии атлантической, включающее головы, хребты и внутренние органы, и вторичное сырье, образующееся при разделке балтийской кильки горячего копчения, представленное головами рыб. Количество отходов при выработке пищевой продукции из этих видов рыб в Калининградской области превышает 12 т в сутки. Некоторое количество отходов скумбрии направляется на кормовые цели, однако, существенная масса не используется и должна быть утилизирована. С наибольшими трудностями сопряжена реализация голов копченой кильки (отходы шпротного производства), которые содержат коптильные компоненты и не должны скармливаться животным. Ввиду высокого содержания жира эти отходы являются перспективными источниками для его выделения. Диапазон колебаний химического состава исследованных отходов на период 2020-2024 г. представлен в таблицах 3.1-3.3.

Таблица 3.1 – Химический состав общей массы вторичного сырья атлантической скумбрии

Показатель	Содержание, %
Влага	60,3-70,5
Жир	9,5-20,3
Белок	10,2-20,3
Зола	4,8-6,6

Таблица 3.2 – Содержание влаги и жира в различном вторичном сырье атлантической скумбрии

Вторичное сырье	Содержание влаги, %	Содержание жира, %
Головы	50,6-58,3	12,6-20,3

Продолжение таблицы 3.2

Хребты	47,9-57,2	9,5-18,8
Внутренние органы	63,8-65,6	14,2-16,0

Таблица 3.3 – Химический состав вторичного сырья копченой балтийской кильки

Показатель	Содержание, %
Влага	45,2-61,1
Жир	15,8-28,0
Белок	18,1-20,5
Зола	5,0-6,3

Химический состав вторичного рыбного сырья, исследованный в течение 2020-2024 гг., существенно различался в зависимости от партии отходов, что связано с сезоном вылова рыбы, с массовым составом массы отходов и т.д. [35, 36, 37]. Содержание жира во вторичном сырье скумбрии атлантической достигает до 20 % от массы сырья, а содержание жира в головах кильки балтийской копченой достигает до 28 % от массы исходного сырья, что свидетельствует о целесообразности использования выбранных видов рыбного сырья для получения жира.

При выделении жира из вторичного рыбного сырья, различающегося по составу и свойствам, биотехнологическим (ферментативным) способом важно было обосновать технологические параметры гидролиза (дозировка ферментного препарата и продолжительность его воздействия на сырье). При этом установленные оптимальные параметры должны обеспечивать наибольший выход жира из рыбного сырья при наименьших показателях его окислительной порчи при использовании каждой из рассмотренных протеаз.

3.2 Обоснование технологических режимов ферментативного гидролиза рыбного сырья

Различия в составе и характеристиках вторичного рыбного сырья обуславливают разные подходы при извлечении из него жира. Так, для денатурированного термообработанного сырья, к которому относятся головы копченой балтийской кильки, были выбраны более низкие дозировки протеолитических ферментных препаратов. Для обработки натурального (нетермообработанного) сырья скумбрии, представленного нативными более жесткими тканями, использовались более высокие дозировки протеаз.

На рисунке 3.1 представлены диаграммы, описывающие влияние дозировки ФП алкалаза и продолжительности гидролиза на выход жира из вторичного сырья скумбрии.

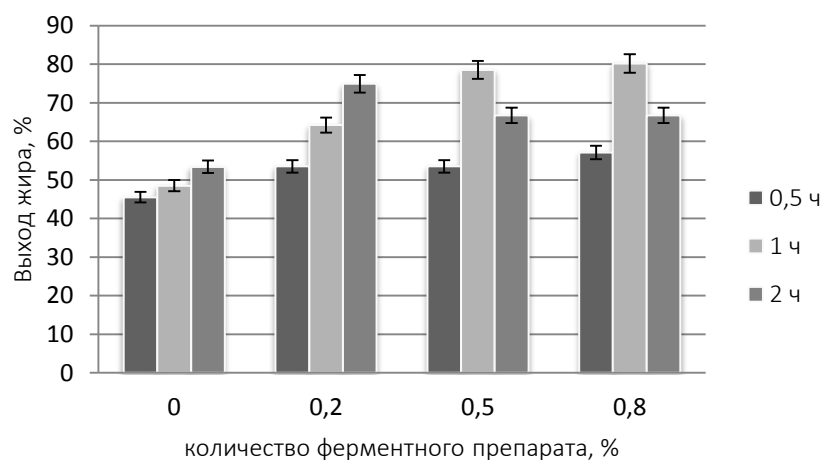


Рисунок 3.1 – Зависимость выхода жира из вторичного сырья скумбрии от дозировки ФП алкалаза и продолжительности гидролиза

Данные, представленные на рисунке 3.1, показывают, что ферментативный гидролиз способствует увеличению выхода жира из рыбного сырья. При дозировках ФП выше 0,5 % с увеличением продолжительности гидролиза с 1 ч до 2 ч происходит снижение выхода жира за счет образования стой-

кой эмульсии. Таким образом, для оптимизации процесса выбран диапазон варьирования продолжительности гидролиза – от 30 до 90 минут, диапазон варьирования дозировок ФП – от 0,1 до 0,9 % к массе рыбного сырья.

Поскольку продолжительное воздействие повышенной температуры в присутствии воды приводит к интенсификации окислительных процессов, протекающих в липидах рыбного сырья, необходимым является контроль перекисных чисел получаемых жиров.

В качестве частных откликов при варьировании условий гидролиза определяли выход жира, % от его общего содержания в сырье, и его перекисное число (ПЧ), ммоль активного кислорода / кг (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Выход жира и значения перекисных чисел при варьировании дозировок ФП и продолжительности гидролиза вторичного сырья скумбрии

№ п/п	Дозировка ФП, %	Продол- жительность гидролиза, мин	Гидролиз ФП алкалаза		Гидролиз ФП протозим		Гидролиз ФП протосуб- тилин	
			Выход жира	ПЧ	Выход жира	ПЧ	Выход жира	ПЧ
1	0,9	90	82,5	11,0	78,7	6,0	73,5	7,3
2	0,1	90	72,5	5,5	55,8	5,5	60,3	6,2
3	0,9	30	55,0	4,8	50,2	5,5	60,3	5,8
4	0,1	30	50,0	4,5	47,5	4,5	52,1	5,1
5	0,9	60	83,2	6,5	72,5	5,2	70,7	5,7
6	0,1	60	60,0	4,8	52,5	4,8	52,5	5,2
7	0,5	90	70,2	5,8	68,5	5,8	72,8	5,2
8	0,5	30	53,5	4,5	50,5	4,7	50,2	5,1
9	0,5	60	78,5	4,8	65,6	4,8	70,8	5,1

План эксперимента по оптимизации ферментативного гидролиза сырья скумбрии для выделения жира и данные для математической обработки представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица ОЦКП при оптимизации процесса выделения жира из вторичного сырья скумбрии

№ опыта	Условия эксперимента				Обобщенные параметры оптимизации при гидролизе:		
	ω		τ		ФП алкалаза	ФП протозим	ФП протосубтилин
	Код.	Нат., %	Код.	Нат., мин			
1	1	0,9	1	90	2,863	0,260	0,679
2	-1	0,1	1	90	0,192	0,312	0,420
3	1	0,9	-1	30	0,232	0,365	0,330
4	-1	0,1	-1	30	0,260	0,285	0,289
5	1	0,9	0	60	0,371	0,148	0,238
6	-1	0,1	0	60	0,189	0,255	0,298
7	0	0,5	1	90	0,261	0,271	0,146
8	0	0,5	-1	30	0,226	0,266	0,307
9	0	0,5	0	60	0,075	0,147	0,145

После математического преобразования данных были получены кодированные математические модели биотехнологического процесса выделения жира из вторичного сырья скумбрии с применением трех различных протеаз:

- ФП алкалаза:

$$Y = -0,12 + 0,471 \cdot x_1 + 0,433 \cdot x_2 + 0,675 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,497 \cdot x_1^2 + 0,460 \cdot x_2^2 \quad (3.1)$$

- ФП протозим:

$$Y = 0,155 - 0,013 \cdot x_1 - 0,012 \cdot x_2 - 0,033 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,042 \cdot x_1^2 + 0,11 \cdot x_2^2 \quad (3.2)$$

- ФП протосубтилин:

$$Y = 0,109 + 0,04 \cdot x_1 + 0,0532 \cdot x_2 + 0,055 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,176 \cdot x_1^2 + 0,135 \cdot x_2^2 \quad (3.3)$$

В выражениях 3.1-3.3:

Y – параметр оптимизации;

x_1 – кодированное значение массовой доли ФП;

x_2 – кодированное значение продолжительности гидролиза.

Переход к математическим моделям с натуральными значениями факторов ($\omega_a, \omega_n, \omega_{nc}$ – массовые доли ФП алкалаза, протозим и протосубтилин соответственно, % к массе рыбного сырья; $\tau_a, \tau_n, \tau_{nc}$ – продолжительность гидролиза соответствующими ФП, мин.) дает возможность прогнозировать качество получаемого продукта:

- с ФП алкалаза:

$$Y = 2,729 - 5,304 \cdot \omega_a - 0,075 \cdot \tau_a + 0,056 \cdot \omega_a \cdot \tau_a + 3,106 \cdot \omega_a^2 + 0,0005 \cdot \tau_a^2 \quad (3.4)$$

- с ФП протозим:

$$Y = 0,618 - 0,13 \cdot \omega_n - 0,014 \cdot \tau_n - 0,003 \cdot \omega_n \cdot \tau_n + 0,262 \cdot \omega_n^2 + 0,0001 \cdot \tau_n^2 \quad (3.5)$$

- с ФП протосубтилин:

$$Y = 0,905 - 1,275 \cdot \omega_{nc} - 0,018 \cdot \tau_{nc} + 0,005 \cdot \omega_{nc} \cdot \tau_{nc} + 1,101 \cdot \omega_{nc}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{nc}^2 \quad (3.6)$$

Графические интерпретации моделей процесса выделения жира из вторичного сырья скумбрии при использовании ФП алкалаза, протозим и протосубтилин представлены на рисунке 3.2.

Расчётные оптимальные значения оптимизируемых факторов составили:

$$\omega_a = 0,40 \% \text{ и } \tau_a = 52,9 \text{ мин.}$$

$$\omega_n = 0,57 \% \text{ и } \tau_n = 62,3 \text{ мин.}$$

$$\omega_{nc} = 0,48 \% \text{ и } \tau_{nc} = 54,9 \text{ мин.}$$

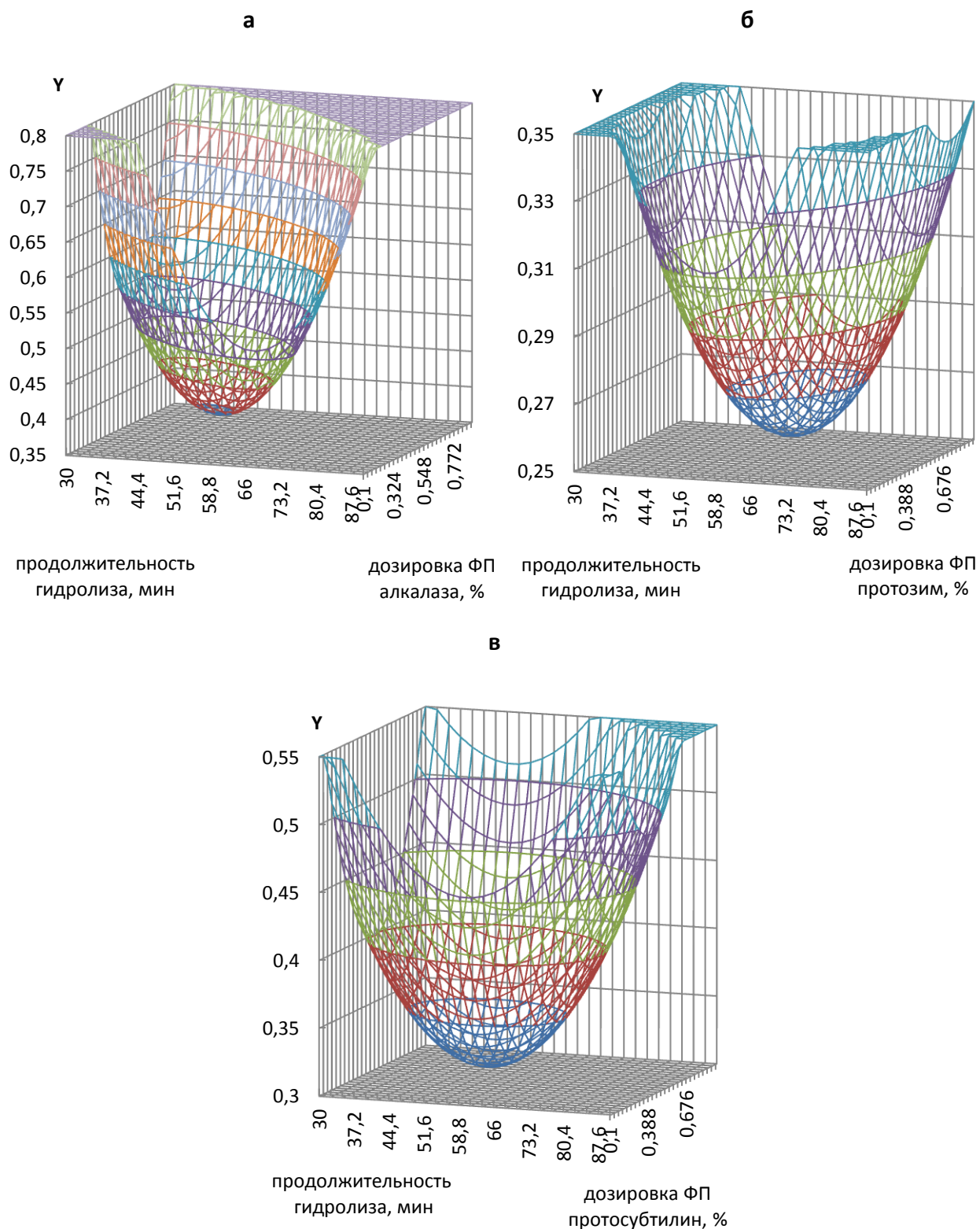


Рисунок 3.2 – Геометрические интерпретации моделей выделения жира из вторичного сырья скумбрии с помощью ФП алкалаза (а), протозим (б) и протосубтилин (в)

Наибольшей эффективностью при выделении жира из вторичного сырья скумбрии обладает ФП алкалаза, о чем свидетельствуют меньшие дози-

ровка и продолжительность гидролиза при использовании этого ФП в сравнении с другими протеазами.

Предварительные эксперименты при выделении жира из вторичного сырья копченой кильки позволили получить данные, представленные на диаграммах на рисунке 3.3.

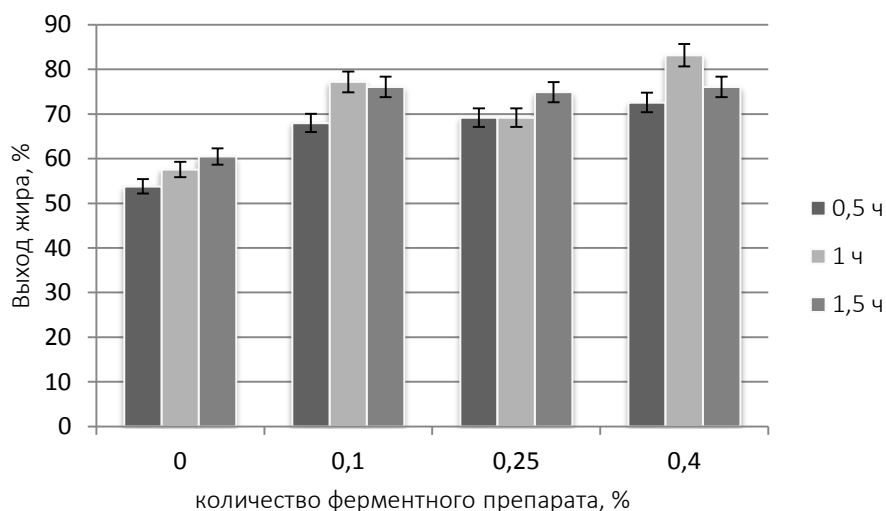


Рисунок 3.3 – Зависимость выхода жира из вторичного сырья копченой кильки от дозировки ФП алкалаза и продолжительности гидролиза

При гидролизе термообработанного рыбного сырья, представленного головами копченой кильки, использовали меньшие дозировки протеаз, которые обеспечивали достаточно высокий выход жира (более 80 %). Для оптимизации процесса выбран диапазон варьирования продолжительности гидролиза – от 30 до 90 минут, диапазон варьирования дозировок ФП – от 0,05 до 0,5 % к массе рыбного сырья. Выход жира, % от его общего содержания в сырье, при выбранных режимах и значения его перекисных чисел (ПЧ), ммоль активного кислорода / кг, представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Выход жира и значения перекисных чисел при варьировании дозировок ФП и продолжительности гидролиза вторичного сырья копченой кильки

№ п/п	Дозировка ФП, %	Продолжи- тельность гидролиза, мин	Гидролиз ФП алкалаза		Гидролиз ФП протозим		Гидролиз ФП протосуб- тилин	
			Выход жира	ПЧ	Выход жира	ПЧ	Выход жира	ПЧ
1	0,5	90	80,0	6,8	79,5	7,8	70,2	8,2
2	0,05	90	74,1	5,2	69,8	5,7	70,5	5,0
3	0,5	30	74,5	4,7	70,4	5,2	71,2	4,8
4	0,05	30	67,5	4,7	62,5	4,5	62,2	4,5
5	0,5	60	83,5	5,6	78,8	5,5	74,6	6,1
6	0,05	60	76,2	4,7	65,5	4,7	72,5	4,7
7	0,275	90	75,5	5,2	72,3	5,2	70,4	5,8
8	0,275	30	69,1	4,7	65,5	4,7	63,5	4,7
9	0,275	60	71,5	4,8	70,6	4,8	74,1	5,1

Как видно, выход жира из вторичного сырья копченой кильки в целом выше, чем из вторичного сырья скумбрии, а также в меньшей степени зависит от условий ферментативного гидролиза. Это связано с термической обработкой сырья кильки, инактивацией ферментных систем микроорганизмов, обсеменяющих сырье, а, следовательно, с низкой долей образующейся эмульсии. С этим же связан и менее интенсивный рост перекисных чисел в процессе гидролиза.

План эксперимента по оптимизации ферментативного гидролиза сырья копченой кильки для выделения жира и данные для математической обработки представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Матрица ОЦКП при оптимизации процесса выделения жира из вторичного сырья копченой кильки

№ опыта	Условия эксперимента				Обобщенные параметры оптимизации при гидролизе:		
	ω		τ		ФП алкалаза	ФП протозим	ФП протосубтилин
	Код.	Нат., %	Код.	Нат., мин			
1	1	0,5	1	90	0,301	0,580	0,765
2	-1	0,05	1	90	0,091	0,162	0,099
3	1	0,5	-1	30	0,067	0,112	0,087
4	-1	0,05	-1	30	0,108	0,141	0,143
5	1	0,5	0	60	0,087	0,094	0,191
6	-1	0,05	0	60	0,059	0,121	0,078
7	0	0,275	1	90	0,084	0,101	0,171
8	0	0,275	-1	30	0,097	0,121	0,135
9	0	0,275	0	60	0,086	0,091	0,085

После математического преобразования данных были получены кодированные математические модели биотехнологического процесса выделения жира из вторичного сырья копченой кильки с применением трех различных протеаз:

- ФП алкалаза:

$$Y = 0,057 + 0,033 \cdot x_1 + 0,034 \cdot x_2 + 0,063 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03 \cdot x_1^2 + 0,048 \cdot x_2^2 \quad (3.7)$$

- ФП протозим:

$$Y = 0,037 + 0,06 \cdot x_1 + 0,078 \cdot x_2 - 0,112 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,097 \cdot x_1^2 + 0,101 \cdot x_2^2 \quad (3.8)$$

- ФП протосубтилин:

$$Y = 0,058 + 0,121 \cdot x_1 + 0,112 \cdot x_2 + 0,18 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,09 \cdot x_1^2 + 0,116 \cdot x_2^2 \quad (3.9)$$

В выражениях 3.7-3.9:

Y – параметр оптимизации;

x_1 – кодированное значение массовой доли ФП;

x_2 – кодированное значение продолжительности гидролиза.

Переход к математическим моделям с натуральными значениями факторов (ω_a , ω_n , ω_{nc} – массовые доли ФП алкалаза, протозим и протосубтилин соответственно, % к массе рыбного сырья; τ_a , τ_n , τ_{nc} – продолжительность гидролиза соответствующими ФП, мин.) дает возможность прогнозировать качество получаемого продукта:

- с ФП алкалаза:

$$Y = 0,336 - 0,731 \cdot \omega_a - 0,008 \cdot \tau_a + 0,009 \cdot \omega_a \cdot \tau_a + 0,587 \cdot \omega_a^2 + 0,00005 \cdot \tau_a^2 \quad (3.10)$$

- с ФП протозим:

$$Y = 0,626 - 1,78 \cdot \omega_n - 0,015 \cdot \tau_n + 0,016 \cdot \omega_n \cdot \tau_n + 1,924 \cdot \omega_n^2 + 0,0001 \cdot \tau_n^2 \quad (3.11)$$

- с ФП протосубтилин:

$$Y = 0,724 - 2,12 \cdot \omega_{nc} - 0,019 \cdot \tau_{nc} + 0,027 \cdot \omega_{nc} \cdot \tau_{nc} + 1,918 \cdot \omega_{nc}^2 + 0,0001 \cdot \tau_{nc}^2 \quad (3.12)$$

Графические интерпретации моделей процесса выделения жира из вторичного сырья копченой кильки при использовании ФП алкалаза, протозим и протосубтилин представлены на рисунке 3.4.

Расчётные оптимальные значения факторов составили:

$$\omega_a = 0,22 \% \text{ и } \tau_a = 50,7 \text{ мин.}$$

$$\omega_n = 0,25 \% \text{ и } \tau_n = 50,3 \text{ мин.}$$

$$\omega_{nc} = 0,15 \% \text{ и } \tau_{nc} = 57,9 \text{ мин.}$$

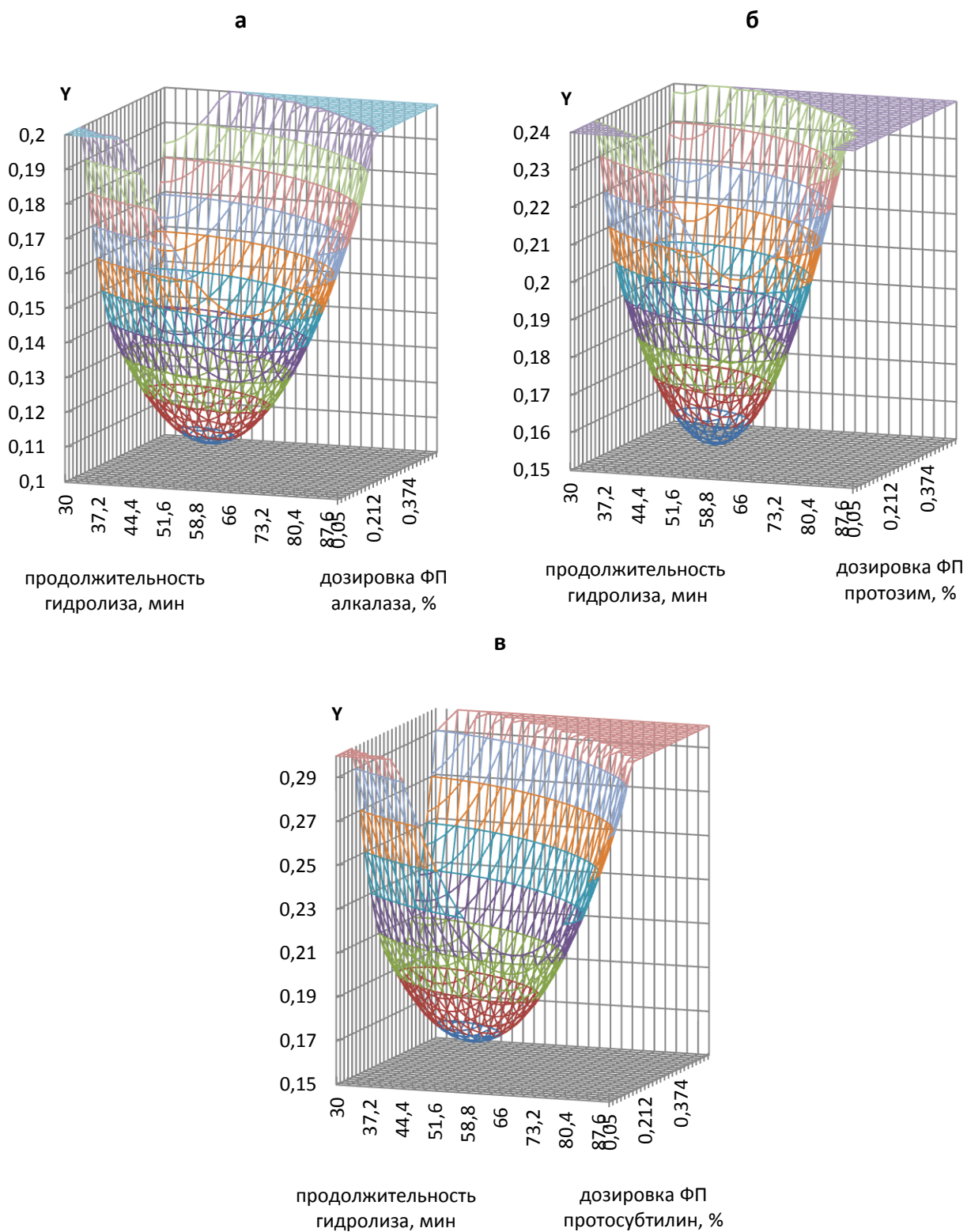


Рисунок 3.4 – Геометрические интерпретации моделей выделения жира из вторичного сырья копченой кильки с помощью ФП алкалаза (а), протозим (б) и протосубтилина (в)

Экспериментальная проверка полученных оптимальных режимов ферментативного гидролиза вторичного рыбного сырья подтвердила достижение наивысшего выхода жира и наименьших значений ПЧ при ферментативном процессе выделения жира, при этом наилучшие показатели получены при обработке вторичного рыбного сырья ФП алкалаза (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Оптимальные параметры ферментативного выделения жира и показатели процесса

Вторичное сырье	ФП	Оптимальные значения факторов:		Выход жира, %	ПЧ, ммоль активного кислорода/кг
		дозировка ФП, %	положительность гидролиза, мин		
скумбрии	алкалаза	0,40	52±2	74,6	4,8
	протозим	0,57	60±2	69,8	5,0
	протосубтилин	0,48	53±2	68,7	5,0
копченой кильки	алкалаза	0,22	50±2	75,5	4,6
	протозим	0,25	50±2	69,5	4,6
	протосубтилин	0,15	56±2	71,8	4,8

3.3 Обоснование направления жиров, полученных биотехнологическим способом, на пищевые и технические цели

Проведенные исследования за период 2020-2024 гг. позволили установить, что вторичное рыбное сырье каждого вида в зависимости от партии может характеризоваться различной интенсивностью протекающих в нем гидролитических и окислительных процессов.

В таблице 3.9 представлены результаты исследования показателей гидролитической и окислительной порчи жиров, полученных из вторичного рыбного сырья по оптимальным параметрам ферментативной экстракции за период исследований.

Таблица 3.9 – Диапазоны значений кислотных и перекисных чисел жиров, выделенных из вторичного рыбного сырья биотехнологическим способом

Показатель	Рыбные жиры, ферментативно экстрагированные, из:	
	скумбрии	копченой кильки
КЧ, мг КОН/г	1,5-21,9	1,0-7,2
ПЧ, ммоль активного кислорода/кг	4,1-32,6	4,1-10,5

Жиры, полученные из копченой кильки, характеризовались существенно более низкими значениями кислотных (КЧ) и перекисных (ПЧ) чисел в сравнении с жирами из скумбрии. Это объясняется тем, что килька прибрежного лова, вылавливаемая в Балтийском море, сразу обрабатывается в технологическом процессе. Скумбрия является океаническим сырьем, которое после вылова замораживается и хранится до обработки, за этот период в жирах начинаются необратимые изменения. Повышенная устойчивость липидов кильки обеспечивается также за счет ее предварительного горячего копчения, предусмотренного технологией консервов «Шпроты в масле». При этом термическое воздействие приводит к инаktivации собственных ферментов, а коптильные компоненты дыма (фенолы и другие ароматические вещества) обеспечивают антиоксидантный эффект.

Жиры, ферментативно экстрагированные из вторичного рыбного сырья, в зависимости от показателей гидролитической и окислительной порчи, были про дифференцированы на 2 группы – пищевого и технического назначения – согласно критериальным показателям безопасности в ТР ЕАЭС 040/2016. В жирах пищевого назначения КЧ и ПЧ не должны превышать регламентиро-

ванных значений для пищевых рыбных жиров (КЧ не более 4 мг КОН/г, ПЧ не более 10 ммоль активного кислорода/кг). В жирах технического назначения уровни КЧ и ПЧ жира могут быть выше соответствующих нормативных показателей пищевой безопасности. При приеме рыбных отходов решение о получении из них жира для пищевых или технических целей принимается на основе анализа КЧ и ПЧ жира, выделенного из выборки центрифугированием.

На основании предложенного дифференцирования жиров, полученных ферментативной экстракцией из рыбного сырья, можно сделать вывод о преимущественном направлении жира из голов копченой кильки на пищевые цели. Однако для пищевого использования такого жира необходимо обеспечить в нем безопасное содержание потенциально токсичных ПАУ, попадающих в сырье при копчении и обладающих канцерогенным действием.

3.4 Адсорбционная очистка жира, полученного из вторичного копченого рыбного сырья

Головы копченой балтийской кильки являются источником богатого ПНЖК жира, однако, в силу липофильной природы, именно в жировой фракции концентрируется большая часть ПАУ. ПАУ проявляют токсическое действие на организм человека, в связи с чем возникают сложности использования такого жира в пищевых целях даже при удовлетворительных показателях гидролитической и окислительной порчи.

В таблице 3.10 представлены установленные уровни 4-х ПАУ, отличающихся наибольшей токсичностью, в жире из голов копченой кильки до и после обработки его активированным углем.

Таблица 3.10 – Содержание ПАУ в жире копченой кильки до и после адсорбционной очистки

Компонент	Содержание в жире из голов копченой балтийской кильки, мкг/кг:	
	до обработки сорбентом	после обработки сорбентом
Бенз(а)пирен	4,56±0,55	0,64±0,08
Бензо(б)флуорантен	1,27±0,19	0,50±0,075
Бенз(а)антрацен	53,18±7,98	24,71±3,71
Хризен	27,36±4,10	7,77±1,16

Содержание бенз(а)пирена не превышает регламентированный уровень для копченых пищевых продуктов (5 мкг/кг, ТР ЕАЭС 040/2016), однако превышает безопасный уровень для копильных ароматизаторов (2 мкг/кг, ТР ЕАЭС 040/2016) (Агафонова С.В., Мезенова О.Я., Дамбарович Л.В., 2023). Из таблицы 3.10 видно, что обработка жира сорбентом позволила существенно снизить содержание ПАУ. Наибольшая адсорбирующая способность отмечена в отношении бенз(а)пирена – его содержание уменьшилось на 86 %. При адсорбции удалось снизить концентрацию бензо(б)флуорантена на 60 %, бенз(а)антрацена – на 53,5 %, хризена – на 72 % [7].

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод о рациональности использования технологии адсорбционной очистки рыбного жира. Такая обработка позволяет существенно повысить безопасность выделенного из копченого сырья жира для использования его в пищевых целях.

3.5 Технологическая схема получения жира из вторичного рыбного сырья

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема получения жира из вторичного рыбного сырья, представленная

на рисунке 3.5. Основные операции описаны в ТИ к ТУ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения» (приложение Г).

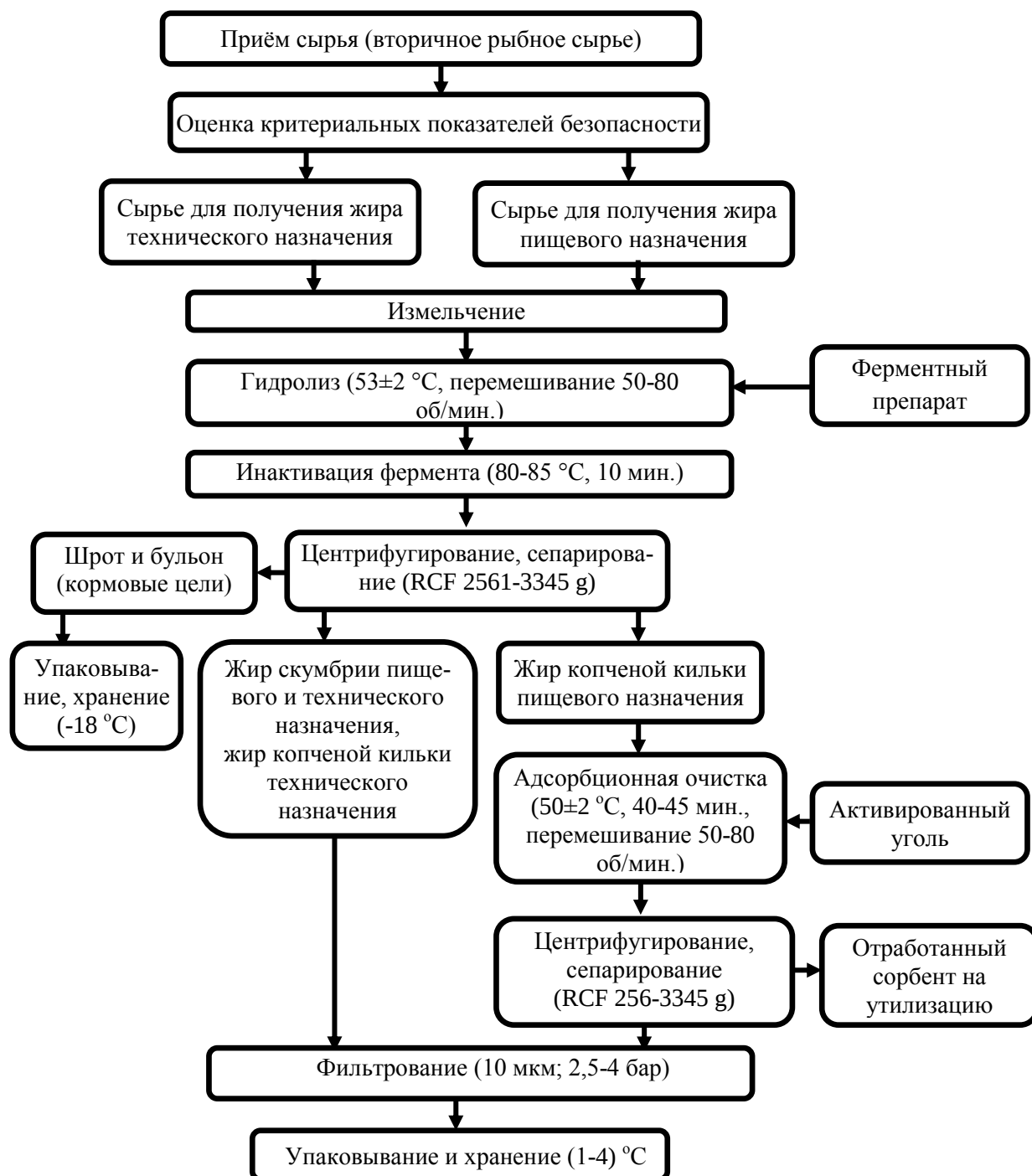


Рисунок 3.5 – Технологическая схема получения жира из вторичного рыбного сырья

Приём сырья. Для производства жира используют вторичное рыбное сырье (субпродукты) скумбрии или кильки балтийской копчёной. Приём сырья осуществляется в соответствии с ТУ 10.20.42-035-00471544-2024 «Субпродукты рыбы жиросодержащие».

Оценка критериальных показателей качества. На данной операции осуществляется выборка из общей партии рыбных отходов, образец измельчается и с помощью центрифугирования из него извлекается жир. В жире определяются критериальные показатели качества (КЧ, ПЧ), на основе значения которых сырье направляется для производства жира пищевого, либо технического назначения.

Измельчение. Вторичное сырье помещается в оборудование, представляющее собой дробилку для рыбных отходов (ДРО) или блокорезку и дробятся до частиц, не превышающих по размеру 25 мм, полученный дроблёный фарш подаётся на измельчитель – установку по типу волчок, диаметр решетки которого не превышает 3,8 мм.

Гидролиз. Полученный фарш загружается в бак-реактор, снабженный мешалкой, с добавлением воды в соотношении 1:1, и нагревается до температуры гидролиза с последующим добавлением ферментного препарата. Гидролиз осуществляется при оптимальных параметрах для данного вида ФП, при постоянном перемешивании 50-80 об/мин.

Инактивация фермента. После окончания процесса гидролиза масса нагревается в баке-реакторе до температуры 80-85 °С и выдерживается в течение 10 мин для инактивации фермента.

Центрифугирование, сепарирование. Масса поддаётся на сепаратор для пищевых жиров или центрифугу, предназначенные для непрерывного разделения жиро-водной смеси. Конструкция оборудования с центробежной периодической выгрузкой осадка позволяет отделить полученный жир от шрота с бульоном. Полученный шрот с бульоном используются на кормовые цели (замораживаются и упаковываются).

Адсорбционная очистка. В нагретый жир добавляется сорбент – мелкодисперсный активированный уголь – в количестве 1 % к массе жира, перемешивается в течении 40-45 мин при 50-80 об/мин. Процесс происходит при поддержании постоянной температуры 50 ± 2 °С.

Центрифугирование. Жир с сорбентом подаётся на промышленную центрифугу для разделения компонентов. Температура жира составляет 50 ± 2 °С. Отделенный сорбент утилизируется.

Фильтрация. Для недопущения попадания примесей в готовый продукт жир фильтруется на вакуумной фильтрационной установке.

Упаковка и хранение. Полученный жир упаковывается в тару, соответствующую стандартам по ГОСТ 33756-2016. Хранение осуществляется при температуре от 1 до 4 °С.

3.6 Показатели качества и безопасности жиров из вторичного рыбного сырья

В таблице 3.11 представлены показатели, характеризующие состав жирных кислот, показатели гидролитической и окислительной порчи, органолептические свойства жиров, выделенных из вторичного сырья скумбрии и копченой балтийской кильки, которые предназначены для использования в пищевых целях.

Таблица 3.11 – Показатели, характеризующие состав, свойства, гидролитическую и окислительную порчу жиров для пищевых целей, полученных из вторичного рыбного сырья

Показатель	Жир из вторичного сырья:	
	скумбрии	голов копченой кильки
Цвет	От желтого до светлого желто-оранжевого	От янтарного до светло-коричневого

Продолжение таблицы 3.11

Вкус, запах	Свойственные данному виду жира, без признаков прогорклости	Свойственные данному виду жира, с запахом копчёности, без признаков прогорклости
Прозрачность при $t > 40^{\circ}\text{C}$	Прозрачный	
Число омыления, мг КОН / г	179,5–182,6	170,50–174,2
Йодное число, %	176,7–179,6	157,3–159,5
Кислотное число, мг КОН / г	1,5–2,8	1,0–2,5
Перекисное число, ммоль активного кислорода / кг	4,1–9,4	4,1–8,4
Тиобарбитуровое число, ед. оптической плотности	0,070–0,122	0,055–0,095
Содержание неомыляемых веществ, %	1,5–1,9	1,7–2,0
Содержание воды, %	0,3–0,4	0,2–0,3
Содержание примесей нежирового характера, %	0,04–0,1	0,06–0,15

Как видно из таблицы 3.11, жиры пищевого назначения по показателям гидролитической и окислительной порчи не превышают установленные ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016 значения – кислотное число не более 4 мг КОН/г, перекисное число не более 10 ммоль активного кислорода / кг. По содержанию неомыляемых веществ, содержанию воды и примесей нежирового характера жиры отвечают требованиям ГОСТ 8714-2014 «Жир пищевой из рыбы и водных млекопитающих» (не более 2,5 и не более 0,5 % соответственно). Йодные числа и числа омыления характеризуют состав жирных кислот жиров, их значения соответствуют рыбным жирам. Более высокое йодное число скумбриевого жира свидетельствует о большем содержании в нем ненасыщенных жирных кислот в сравнении с жиром кильки. Невысокие тиобарбитуровые числа жиров свидетельствуют о низком содержании вторичных продуктов окисления липидов.

В таблице 3.12 представлены показатели, характеризующие состав жирных кислот, показатели гидролитической и окислительной порчи, органолептические свойства жиров, выделенных из вторичного сырья скумбрии и копченой балтийской кильки, технического назначения.

Таблица 3.12 – Показатели, характеризующие состав, свойства, гидролитическую и окислительную порчу жиров технического назначения из вторичного рыбного сырья

Показатель	Жир из вторичного сырья:	
	скумбрии	голов копченой кильки
Цвет	От желтого до темно-оранжевого	От янтарного до темно-коричневого
Запах	Свойственный данному виду жира	Свойственный данному виду жира, с запахом копчености
Прозрачность при $t > 40^{\circ}\text{C}$	От прозрачного до опалесцирующего	
Число омыления, мг КОН / г	201,2–202,9	183,0–196,0
Йодное число, %	170,7–168,5	150,6–148,8
Кислотное число, мг КОН / г	12,8–21,9	1,5–7,2
Переокисное число, ммоль активного кислорода / кг	26,4–32,6	6,1–18,9
Тиобарбитуровое число, ед., оптической плотности	0,23–0,56	0,08–0,25
Содержание неомыляемых веществ, %	1,6–2,8	2,8–3,0
Содержание воды, %	0,7–0,9	0,2–0,4
Содержание примесей нежирового характера, %	0,6–0,8	0,2–0,3

Жиры, определенные как жиры технического назначения (табл. 3.12), имеют существенно более высокие кислотные и перекисные числа, чем жиры для пищевого использования. Об интенсивности окислительных процессов также свидетельствуют значения тиобарбитуровых чисел, которые на порядок превосходят таковые для пищевых жиров. При интенсификации процес-

сов перекисного окисления липидов йодные числа снижаются, поскольку происходит присоединение активного кислорода по месту разрыва двойных связей ненасыщенных жирных кислот, поэтому йодные числа технических жиров меньше в сравнении с йодными числами жиров пищевого назначения. В большую сторону отличаются числа омыления технических жиров, что связано также со снижением молекулярной массы входящих в состав жира жирных кислот вследствие их окислительной порчи.

Содержание неомыляемых веществ, воды и примесей нежирового характера в технических жирах превышает таковые для пищевых жиров и выходит за пределы установленных ГОСТ 8714-2014 «Жир пищевой из рыбы и водных млекопитающих». Поскольку при гидролизе и активном окислении жира образуются различные вещества, некоторые из которых могут обладать эмульгирующими свойствами, такой жир связывает большее количество белковых примесей и влаги. С этим связана высокая загрязненность жиров технического назначения.

Показатели качества жиров из вторичного рыбного сырья устанавливаются в ТУ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения» (приложение Д).

Показатели безопасности рыбного жира пищевого назначения в соответствии с ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016 представлены в таблице 3.13. Протоколы исследований представлены в приложениях Е, Ж.

Таблица 3.13 – Показатели безопасности жира пищевого назначения из вторичного рыбного сырья

Показатель	Значения, мг/кг для жира из вторичного сырья:		Допустимые уровни, мг/кг
	скумбрии	копченой кильки	
Токсичные элементы:			
Мышьяк	0,25±0,09	0,06±0,02	Не более 1,0
Ртуть	0,09±0,02	0,05±0,01	Не более 0,3

Продолжение таблицы 3.13

Свинец	0,75±0,13	0,15±0,05	Не более 1,0
Кадмий	0,01	0,01	Не более 0,2
Пестициды: ГХЦГ (α-, β-, γ-изомеры) ДДТ и его метаболиты (ДДЭ, ДДД)	Менее 0,0002 Менее 0,0002	Менее 0,0002 Менее 0,0002	Не более 0,1 Не более 0,2
Полихлорированные бифенилы	Менее 0,0002	Менее 0,0002	Не более 3,0

Таким образом, по содержанию тяжелых металлов, пестицидов и полихлорированных бифенилов жиры пищевого назначения, полученные из вторичного сырья скумбрии и копченой кильки, соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016.

В таблице 3.14 представлен исследованный методом газовой хроматографии жирнокислотный состав жиров пищевого назначения из вторичного рыбного сырья.

Таблица 3.14 – Содержание отдельных жирных кислот в жирах пищевого назначения из вторичного рыбного сырья

Код жирной кислоты	Содержание, % от суммы жирных кислот, в жире:	
	скумбрии	копченой кильки
8:0	0,23±0,01	0,2±0,01
10:0	1,4±0,05	0,6±0,02
14:0	8,6±0,3	4,7±0,1
15:0	0,45±0,01	1,1±0,03
16:0	13,9±0,4	19,3±0,6
16:1 n7	3,4±0,1	5,5±0,2
17:0	0,3±0,01	1,1±0,03
17:1	0,2±0,01	0,7±0,02
18:0	2,1±0,1	2,5±0,1
cis 18:1 n9	10,7±0,3	25,2±0,7

Продолжение таблицы 3.14

cis 18:1 n7	1,8±0,05	2,7±0,1
cis 18:2 n6	1,8±0,05	2,95±0,1
cis 18:3 n6	0,1	0,6±0,02
cis 20:0	0,2±0,01	0,2±0,01
cis 18:3 n3	11,3±0,3	0,1
cis 20:1 n9	1,0±0,03	3,25±0,1
cis 20:2 n6	7,1±0,2	0,5±0,02
cis 20:3 n3	14,4±0,4	1,0±0,03
cis 22:0	0,45±0,01	0,1
cis 22:1 n9	0,4±0,01	0,2±0,01
cis 20:4 n6	не обнаружена	0,1
cis 20:5 n3	8,85±0,3	10,3±0,3
24:0	0,1	0,2±0,01
cis 24:1 n9	0,3±0,01	0,3±0,01
cis 22:5 n3	1,25±0,04	1,3±0,04
cis 22:6 n3	9,1±0,3	14,9±0,4
ΣНЖК	27,8	29,9
ΣМНЖК	17,8	37,8
ΣПНЖК	53,9	31,9

Хроматографический анализ позволил идентифицировать 26 жирных кислот в жире из вторичного сырья копченой балтийской кильки и 25 жирных кислот в жире из вторичного сырья атлантической скумбрии. Жирнокислотный состав полученных жиров пищевого назначения свидетельствует об их высокой биологической ценности. Фракция ПНЖК омега-3 представлена альфа-линоленовой (cis 18:3 n3), эйкозатриеновой (cis 20:3 n3), эйкозапентаеновой (cis 20:5 n3) и докозагексаеновой (cis 22:6 n3) кислотами и составляет 44,9 % для жира скумбрии и 27,7 % для жира копченой кильки.

Высокое содержание эссенциальных ПНЖК омега-3, а также соответствие значений показателей физиологической эффективности рыбных жиров требованиям МР 2.3.1.0253-21 свидетельствуют о потенциальном профилактическом действии полученных жиров на сердечно-сосудистые заболевания человека. Данный эффект подтверждается также значениями пищевых индексов качества жиров – коэффициента биологической эффективности, показателей жирнокислотной сбалансированности (соотношение основных ЖК), атерогенности, тромбогенности, качества, а также гипохолестеринемического показателя (табл. 3.15) [56, 61, 65, 73, 90, 95, 100].

Таблица 3.15 – Показатели физиологической эффективности жиров пищевого назначения из вторичного рыбного сырья

Показатель	Жир:		Физиологически обоснованное значение для взрослого человека
	скупбрии	копченой кильки	
Сумма НЖК, % от суммы ЖК	27,8	29,9	-
Сумма МНЖК, % от суммы ЖК	17,8	37,8	-
Сумма ПНЖК, % от суммы ЖК	53,9	31,9	-
НЖК : МНЖК : ПНЖК	1,5:1:3	1:1,2:1,1	1:1:1
Сумма омега-3, % от суммы ЖК	44,9	27,7	-
Сумма омега-6, % от суммы ЖК	9,0	4,2	-
омега-3 : омега-6	4,9:1	6,6:1	1:5–10
ЭПК + ДГК, % от суммы ЖК	17,95	25,15	0,25 г
АЛК, % от суммы ЖК	11,3	0,13	1,0 г
Коэффициент биологической эффективности $BЭ$	1,9	1,1	1
Коэффициент жирнокислотной сбалансированности R_l	0,7	0,95	$R_l \rightarrow 1$
Показатель атерогенности IA	0,7	0,8	$IA \rightarrow 0$
Показатель тромбогенности IT	0,15	0,2	$IT \rightarrow 0$

Продолжение таблицы 3.15

Гипохолестеринемический показатель H/H	2,5	1,4	$H/H \geq Max$
Показатель качества липидов FLQ	18,05	25,3	$FLQ \geq Max$

Суточная потребность человека в АЛК (1 г) содержится в 9 г жира скумбрии, в ЭПК и ДГК (0,25 г) – в 1,5 г жира скумбрии и в 1 г жира копченой кильки, что свидетельствует о высоком кардиопротекторном потенциале полученных жиров, так как именно эти ПНЖК омега-3 участвуют в организме в синтезе противовоспалительных, антиагрегантных и гипохолестеринемических медиаторов. О кардиопротекторных свойствах жиров скумбрии и копченой кильки свидетельствуют также невысокие значения показателей атерогенности (0,7 и 0,8 соответственно), тромбогенности (0,15 и 0,2) и высокие уровни гипохолестеринемических показателей (2,5 и 1,4). Диетический потенциал жира копченой кильки оценивается выше жира скумбрии, что выражается в большем значении показателя качества липидов (25,3 против 18,05). Оба вида рыбных жиров могут использоваться в качестве добавок к пище для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Для повышения сбалансированности данных жиров по соотношению омега-3 и омега-6 ЖК, учитывая преобладание в них омега-3 ЖК над омега-6 ЖК целесообразно при проектировании жировых соусов их комбинировать с источниками омега-6 ЖК. Таковыми источниками являются растительные масла, прежде всего, подсолнечное масло.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о высоком потенциале жировой составляющей вторичного рыбного сырья, что позволяет рекомендовать получаемый жир для использования в питании человека или в качестве обогащающей добавки при создании новой эмульсионной продукции [8, 33, 37].

3.7 Получение эмульсионного соуса, обогащенного жиром из вторичного рыбного сырья

3.7.1 Оптимизация рецептуры эмульсионного соуса

При разработке эмульсионного продукта, обогащенного рыбным жиром, за основу брали классическую рецептуру майонеза «Провансаль», изготавливаемого на основе подсолнечного масла, представленную в таблице 3.16 [34, 35].

Таблица 3.16 – Стандартная рецептура майонеза «Провансаль»

Наименование сырья	Массовая доля компонентов, кг/на 100 кг готового продукта
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	64,90
Яичный порошок	5,00
Молоко сухое цельное	2,25
Горчичный порошок	0,75
Натрий двууглекислый	0,03
Сахар (песок)	1,50
Соль поваренная	1,00
Уксусная кислота 80 %	0,55
Вода	24,02
Итого:	100

Замена в рецептуре соуса любых количеств подсолнечного масла на рыбный жир не позволила получить стабильный эмульсионный продукт. Наблюдалось расслаивание консистенции соуса непосредственно после его изготовления, либо через короткий период хранения. Для достижения требуемой консистенции соуса был поставлен эксперимент по выбору эмульгирующей и стабилизирующей системы с использованием компонентов, представленных в таблице 3.17. Выбор компонентов был осуществлен на основе

анализа литературных источников, исходя из их технологических свойств и безопасности [5, 9, 13, 15, 17, 32, 82, 91, 94, 95].

Таблица 3.17 – Используемые стабилизационные системы при изготовлении эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром

№ стабилизационной системы	Компоненты	Количество, %
1	Яичный порошок	7,6
	Молоко сухое обезжиренное	2,4
2	4 %-ный раствор яблочного пектина	8,0
	Яичный порошок	5,0
3	2 %-ный раствор хитозана в 9 %-ной уксусной кислоте	8,0
	Яичный порошок	5,0
4	4 %-ный раствор пектина	8,0
	1 %-ный раствор ксантановой камеди	16
	Яичный порошок	5,0
5	2 %-ный раствор хитозана в 9 %-ной уксусной кислоте	8,0
	1 %-ный раствор ксантановой камеди	16
	Яичный порошок	5,0

Используемые стабилизационные системы вносили в количествах, указанных в таблице 3.17, в % к массе жировой фракции соуса. При использовании водных растворов стабилизаторов и эмульгаторов делали пересчет количества вносимой в соус воды [5, 6, 34].

Каждая из стабилизационных систем апробировалась для двух типов жировых фракций: содержащей 80 % подсолнечного масла и 20 % рыбного жира и содержащей 70 % подсолнечного масла и 30 % рыбного жира.

На рисунке 3.6 представлены диаграммы, отражающие стойкость эмульсий образцов соусов при использовании различных стабилизационных систем.

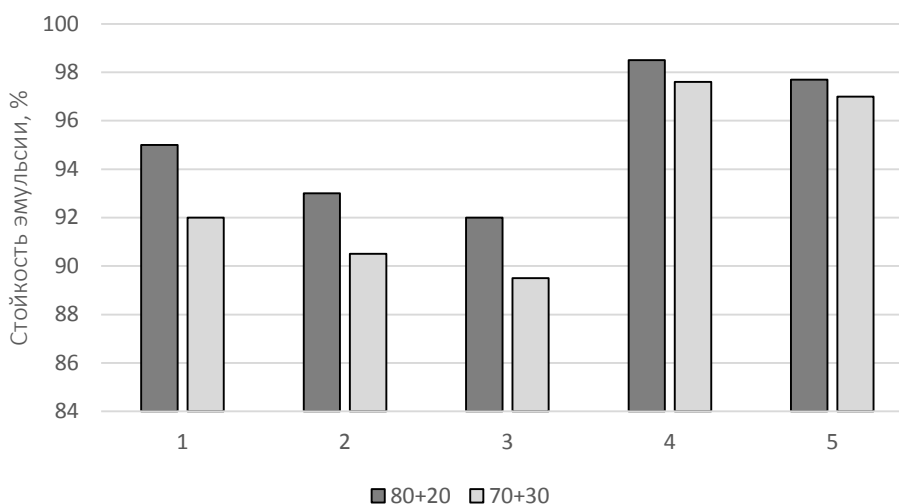


Рисунок 3.6 – Стойкость эмульсий (% неразрушенной эмульсии) образцов соусов с заменой 20 и 30 % подсолнечного масла на рыбный жир при использовании различных стабилизационных систем

Диаграммы, представленные на рисунке 3.6, подтверждают снижение стойкости эмульсии при увеличении массовой доли рыбного жира в жировой фракции с 20 до 30 %. Традиционные компоненты – яичный порошок и сухое молоко – не обеспечивают стабильной эмульсии обогащенных рыбным жиром образцов соусов. Максимальной стойкости эмульсии удалось добиться при включении в состав соуса стабилизационных систем № 4 и № 5, в состав которых входила ксантановая камедь. Максимальная стойкость эмульсии (98,5 %) отмечена для образца соуса, выработанного с использованием стабилизационной системы № 4, включающей 4 %-ный раствор пектина в количестве 8 % к массе жировой фракции, 1-ный % раствор ксантановой камеди в количестве 16 % к массе жировой фракции и яичный порошок в количестве 5 % к массе жировой фракции.

На основании результатов предварительных исследований в качестве основной стабилизирующей системы была выбрана композиция, включаю-

щая 4-х %-й раствор пектина и 1 %-й раствор ксантановой камеди, которые вносились в количестве 8 % и 16 % соответственно к массе жировой фракции соуса. В качестве дополнительного стабилизирующего компонента использовали яичный порошок, оптимальное содержание которого устанавливали методом математического моделирования.

Оптимизацию рецептуры осуществляли методом математического моделирования с использованием ОЦКП 2-го порядка для 2-х факторов, оказывающих наибольшее влияние на стойкость эмульсии соуса: содержания рыбного жира и содержания яичного порошка, % от массы жировой фракции соуса. В качестве частных откликов выступали стойкость эмульсии (% неразрушенной эмульсии) и эффективная вязкость (Пз). Результаты реализации плана эксперимента представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Результаты реализации плана эксперимента по оптимизации рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром

№ опыта	Условия эксперимента				Результаты реализации		Обобщенный параметр оптимизации
	ож		ояп		СЭ, %	В, Пз	
	Код.	Нат., %	Код.	Нат., %			
1	1	24	1	6	97,5	42,6	0,085
2	-1	18	1	6	99,5	69,8	0,027
3	1	24	-1	3	85,5	35,8	0,184
4	-1	18	-1	3	95,5	59,0	0,002
5	1	24	0	4,5	97,0	38,7	0,127
6	-1	18	0	4,5	98,5	63,5	0,004
7	0	21	1	6	98,5	62,5	0,002
8	0	21	-1	3	88,5	55,5	0,019
9	0	21	0	4,5	98,5	58,5	0,001

После математического преобразования данных была получена кодированная математическая модель рецептуры эмульсионного соуса:

$$Y = 0,001 + 0,06 \cdot x_1 + 0,015 \cdot x_2 - 0,031 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,064 \cdot x_1^2 + 0,009 \cdot x_2^2 \quad (3.13)$$

где: Y – параметр оптимизации,

x_1 – кодированное значение массовой доли рыбного жира;

x_2 – кодированное значение массовой доли яичного порошка.

Переход к математической модели эмульсионного соуса с натуральными значениями факторов ($\omega_{жс}$ – массовая доля рыбного жира, % от общей массы жировой фракции; $\omega_{яп}$ – массовая доля яичного порошка, % к массе жировой фракции) дает возможность прогнозировать качество полученного продукта, с переходом к натуральному виду:

$$Y = 2,223 - 0,248 \cdot \omega_{жс} + 0,097 \cdot \omega_{яп} - 0,007 \cdot \omega_{жс} \cdot \omega_{яп} + 0,007 \cdot \omega_{жс}^2 + 0,004 \cdot \omega_{яп}^2 \quad (3.14)$$

Графическая интерпретация полученной модели оптимальных значений содержания рыбного жира $\omega_{жс}$ и яичного порошка $\omega_{яп}$ представлена на рисунке 3.7.

Расчётные оптимальные значения содержания рыбного жира и яичного порошка, полученные методом дифференцирования уравнения в натуральном виде, следующие: $\omega_{жс} = 19,6 \%$ и $\omega_{яп} = 4,6 \%$.

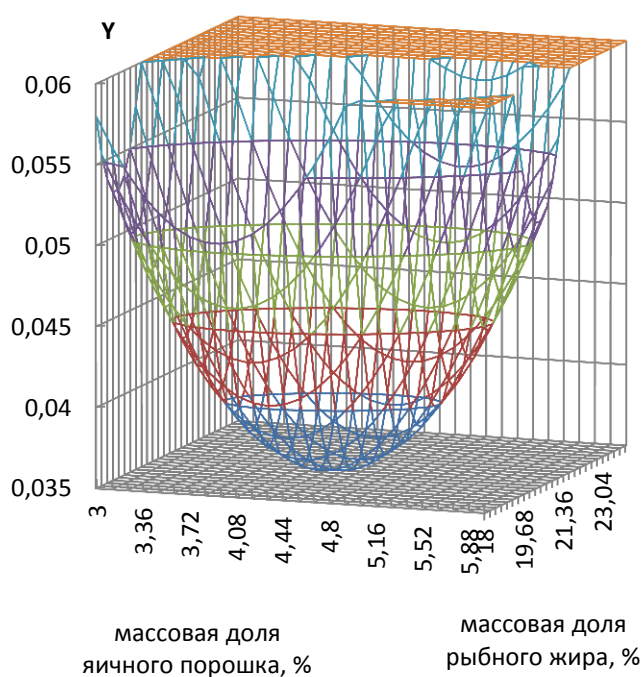


Рисунок 3.7 – Графическая интерпретация модели рецептуры эмульсионного соуса

Оптимизированная рецептура эмульсионного соуса представлена в таблице 3.19

Таблица 3.19 – Оптимизированная рецептура эмульсионного соуса, обогащенного полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья

Наименование сырья	Массовая доля компонентов, кг/на 100 кг готового продукта
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	52,26
Жир рыбный	12,74
Яичный порошок	3,0
Пектин (порошок)	0,2
Ксантановая камедь (порошок)	0,006
Горчичный порошок	0,75
Натрий двууглекислый	0,03

Продолжение таблицы 3.19

Сахар (песок)	1,50
Соль поваренная	1,00
Уксусная кислота 80 %	0,55
Вода	27,9
Экстракт CO ₂ гвоздики	0,01
Итого:	100

Разработанный соус, обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья, получил название «Омега».

3.7.2 Технологическая схема получения эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром

На основании результатов проведенных исследований была разработана технологическая схема производства эмульсионного соуса «Омега».

При поступлении на производство, сырье, основные, вспомогательные и упаковочные материалы подвергают входному контролю в соответствии с инструкцией по входному контролю сырья и вспомогательных материалов или иной нормативной и технической документации.

Для выработки эмульсионного соуса «Омега» используют следующее сырье и материалы: масло подсолнечное рафинированное дезодорированное (ГОСТ 1129-2013), жир рыбный пищевой (ТУ 10.41.12.110-036-00471544-2024), яичный порошок (ГОСТ 30363-2013), горчичный порошок (ГОСТ Р 54705-2011), натрий двууглекислый (ГОСТ 2156-76), сахар белый песок (ГОСТ 33222-2015), соль поваренную (ГОСТ Р 51574-2018), кислоту уксусную 80 % (ГОСТ Р 55982-2014), пектин (ГОСТ 29186-91), ксантановую камедь (ГОСТ 33333-2015), CO₂-экстракт гвоздики, воду питьевую. Все рецептурные компоненты по безопасности должны отвечать требованиям ТР ТС 021/2001, ТР ЕАЭС 040/2016, ТР ТС 029/2012, СанПиН 1.2.3685-21.

Технологическая схема производства эмульсионного соуса представлена рисунке 3.8. Основные операции описаны в ТИ к ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега», (приложение И).

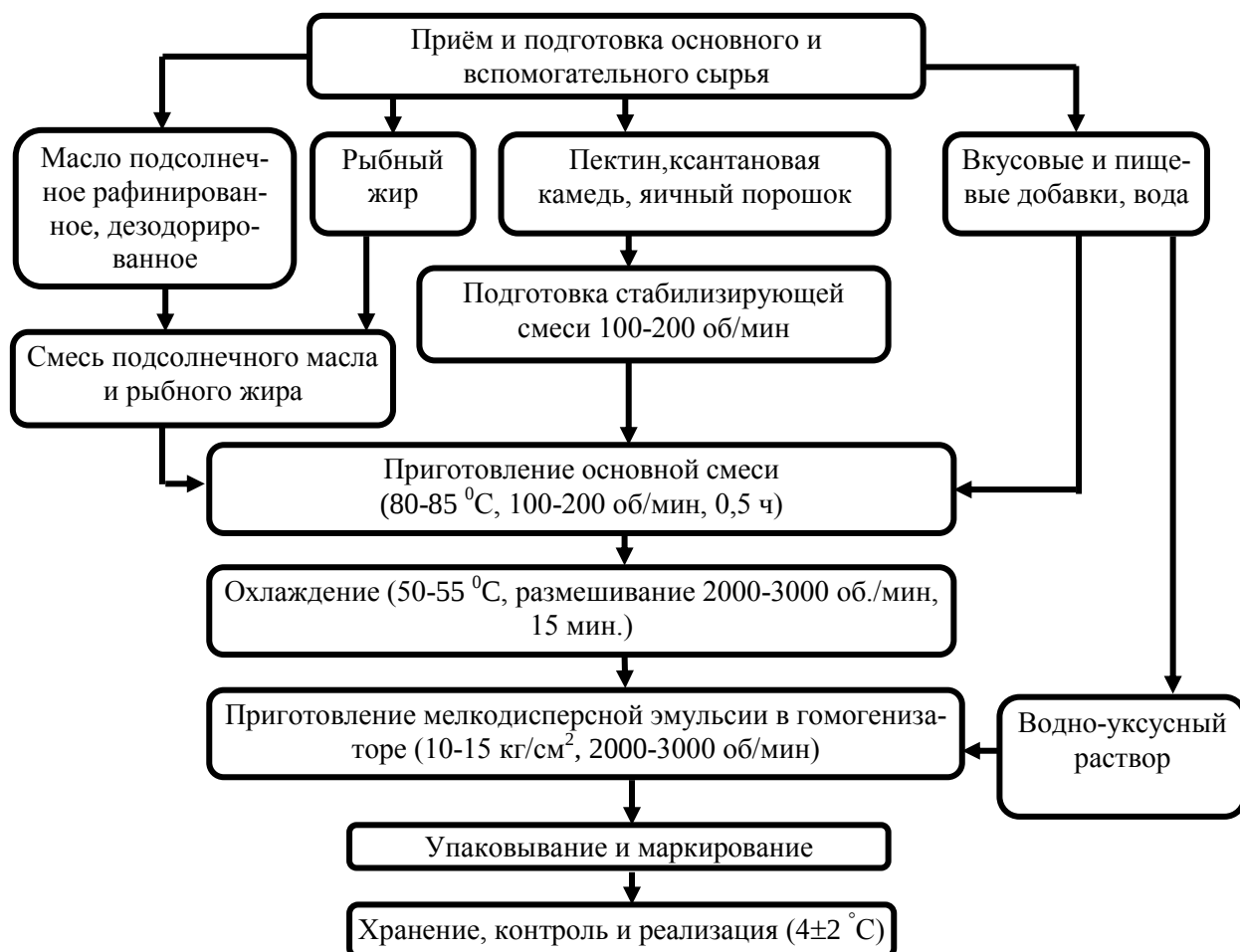


Рисунок 3.8 – Технологическая схема производства эмульсионного соуса «Омега»

Приём и подготовка основного и вспомогательного сырья. Объемные и рассыпчатые ингредиенты: масло подсолнечное, рафинированное, дезодорированное, рыбный жир, пектин, ксантановая камедь, яичный порошок, горчичный порошок, сахар-песок, пищевая соль, пищевая сода, принимаются по стандартам регламентируемыми производством.

Сыпучее сырьё укладывается на поддоны, при необходимости выгружается в специальные резервуары или тару. Вес используемого сырья фикси-

руется с помощью технических весов. Масло подсолнечное и рыбный жир поступают в подготовленные резервуары. Для отмеривания жидких компонентов используется расходомер.

Подготовка стабилизирующей смеси. Яичный порошок, ксантановая камедь и пектин помещаются в смеситель, в который подаётся питьевая вода. В устройстве типа миксера происходит смешивание компонентов. Длительность операции не превышает 5 мин. Смесь нагревается до температуры 60-65 °С и выдерживается в течении 15-20 минут, после чего охлаждается до 55-60 °С. Полученную эмульсионно-стабилизирующую смесь переносят в гомогенизатор.

Приготовление основной смеси. В гомогенизаторе с установленным устройством для перемешивания готовят основную смесь при низкой скорости вращения (мешалка типа полусетки). Это должно обеспечивать равномерное перемешивание во всех слоях жидкости и исключать образование зоны застоя.

В заданный объём воды добавляются сахар, соль, натрий двууглекислый, горчичный порошок и СО₂-экстракт гвоздики исходя из рецептуры. После растворения и образования однородной массы вносится стабилизирующая смесь, и перемешивается до образования однородной массы.

Далее смесь нагревается до температуры 80-85 °С, и выдерживается 30 мин. для пастеризации.

Приготовление уксусно-солевого раствора. В подготовленную тару вливают фиксированное количество питьевой воды при температуре 15-16 °С и добавляют рецептурное количество соли. Тщательно перемешивают раствор и оставляют его для осаждения примесей, фильтруют. Готовят 10 %-ный раствор уксусной кислоты в мини-смесителе, туда же затем подают солевой раствор. Полученный водный раствор уксуса перемешивают в течение 5-10 минут с использованием системы перемешивания и подают в основной сме-

ситель одновременно с последней частью растительного масла и рыбного жира.

Подача растительного масла и рыбного жира в главный смеситель.

Подсолнечное масло и рыбный жир с использованием центробежного насоса подаются в основной смеситель. Для обеспечения равномерного распределения масла при смешивании масло подается через специальные форсунки.

Приготовление гомогенной эмульсии мелкодисперсной. Для преобразования основной эмульсии в готовый соус необходимо провести процесс гомогенизации с применением роторного пульсатора. Ступенчатую гомогенизацию проводят для получения гомогенной эмульсии.

Необходимо строго соблюдать последовательность добавления жира и уксусной кислоты в эмульсию. Это связано с тем, что однократный или высокоскоростной ввод может привести к образованию обратной эмульсии, а некоторые стадии эмульгирования могут привести к инверсии фазы и её расслоению.

После процедуры гомогенизации образцы изымаются из партии уже приготовленного соуса. Взятый специальной деревянной лопаткой образец должен быть исключительно однородным и без каких-либо включений, обладать равномерным цветом, вкусом, ароматом и консистенцией, характерными для данного соуса.

Фасовка соуса. Эмульсионный соус упаковывается из контейнера для готовой продукции с использованием специальной упаковочной машины. Для упаковки используется контейнер типа "дой-пак" объемом 400 мл, соответствующий требованиям безопасности упаковки по стандарту ТР ТС 005/2011.

Маркировка. Полученная продукция должна соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011).

Хранение. Хранение соуса осуществляется в соответствии с требованиями разработанных ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»» (приложение К). Срок годности и условия хранения соуса «Омега» установлены в разделе 3.6.3.

3.7.3 Исследование хранимостпособности эмульсионного соуса «Омега»

При исследовании хранимостпособности эмульсионного соуса «Омега» в качестве контроля рассматривали соус, изготовленный по классической рецептуре майонеза «Провансаль». В соответствии с МУК 4.2.1847-04 в продуктах определялись следующие микробиологические показатели: КМАФАнМ, БГКП, *S. aureus*, бактерии р. *Salmonella*, бактерии р. *Proteus*, плесневые грибы и дрожжи. *L. monocytogenes* определялись в связи с включением в рецептуру ксантановой камеди и пектина.

Микробиологические показатели эмульсионного соуса «Омега» и контрольного образца, а также их регламентированные уровни, представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Микробиологические показатели эмульсионного соуса «Омега» и контрольного образца

Показатель	Значение для соуса «Омега»	Значение для контрольного образца	Значения, установленные ТР ТС 024/2011, ТР ТС 021/2011
КМАФАнМ	$1,0 \times 10^3$ КОЕ/г	$1,0 \times 10^3$ КОЕ/г	не нормируется
БГКП	не обн. В 0,1 г	не обн. В 0,1 г	не допускается в 0,1 г
<i>L. monocytogenes</i>	не обн. В 25 г	не обн. В 25 г	не допускается в 25 г
<i>S. aureus</i>	не обн. В 1,0 г	не обн. В 1 г	не нормируется
Бактерии р. <i>Salmonella</i>	не обн. В 25 г	не обн. В 25 г	не допускается в 25 г

Продолжение таблицы 3.20

Бактерии р. <i>Proteus</i>	не обн. в 1,0 г	не обн. в 1,0 г	не нормируется
Плесневые грибы	менее 10 КОЕ/г	менее 10 КОЕ/г	не более 50 КОЕ/г
Дрожжи	менее 10 КОЕ/г	менее 10 КОЕ/г	не более 5×10^2 КОЕ/г

Из таблицы 3.20 видно, что установленные для образцов микробиологические показатели не превышают регламентированных уровней.

При планировании исследований для установления срока годности учитывали сроки годности, регламентируемые для данного вида продукции: 90 суток при температуре от 0 до +10 °С, 45 суток при температуре от 10 до +18 °С. Однако, в связи с выраженными изменениями консистенции некоторых образцов исследование остановили на 60-е сутки хранения.

В связи с тем, что патогенные и условно патогенные микроорганизмы не были обнаружены в образцах, дальнейшее их определение в процессе хранения не целесообразно. Хранимоспособность эмульсионного соуса «Омега» определялась такими показателями как КМФАнМ, количество плесеней, *Proteus*. Опытные образцы хранились при различных температурных режимах с последующими испытаниями. Результаты представлены в таблицах 3.21 и 3.22.

Таблица 3.21 – Динамика роста КМАФАнМ в образцах эмульсионных соусов

Образец	Температура хранения, °С	КМАФАнМ, КОЕ/г, на сутки хранения:					
		Фон	7	14	30	45	60
Соус «Омега»	4±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$
	20±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$
Контрольный образец	4±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$
	20±2	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$

Таблица 3.22 – Результаты определения бактерий р. *Proteus*, плесеней и дрожжей в образцах эмульсионных соусов

Образец	Температура хранения, °С	Плесени и дрожжи, КОЕ/г, на сутки хранения:						Бактерии р. <i>Proteus</i> , на сутки хранения:					
		Фон	7	14	30	45	60	Фон	7	14	30	45	60
Соус «Омега»	4±2	менее 1,0						не обнаружены в 0,1 г					
	20±2												
Контроль-ный образец	4±2												
	20±2												

При хранении в образцах эмульсионных соусов не отмечено роста плесеней и дрожжей, а также накопления бактерий р. *Proteus*. Отмечается увеличение КМАФАнМ на 60-е сутки хранения – до $5,0 \times 10^3$ КОЕ/г для всех образцов, кроме контрольного, хранившегося в холодильной камере.

Немаловажным показателем безопасности, также изменяющимся в процессе хранения жировой продукции, является перекисное число. В соответствии с МУК 4.2.1847-04 этот показатель также подлежит контролю. В таблице 3.23 представлены результаты исследования перекисных чисел жировой фракции образцов и их регламентированные уровни. На рисунке 3.9 представлена динамика роста перекисных чисел в процессе хранения образцов.

Таблица 3.23 – Показатели окислительной порчи эмульсионного соуса «Омега» и контрольного образца

Показатель	Значение для соуса «Омега»	Значение для контрольного образца	Значение, установленное ТР ТС 024/2011
Перекисное число	2,8±0,1 ммоль активного кислорода / кг	2,2±0,1 ммоль активного кислорода / кг	не более 10 ммоль активного кислорода / кг

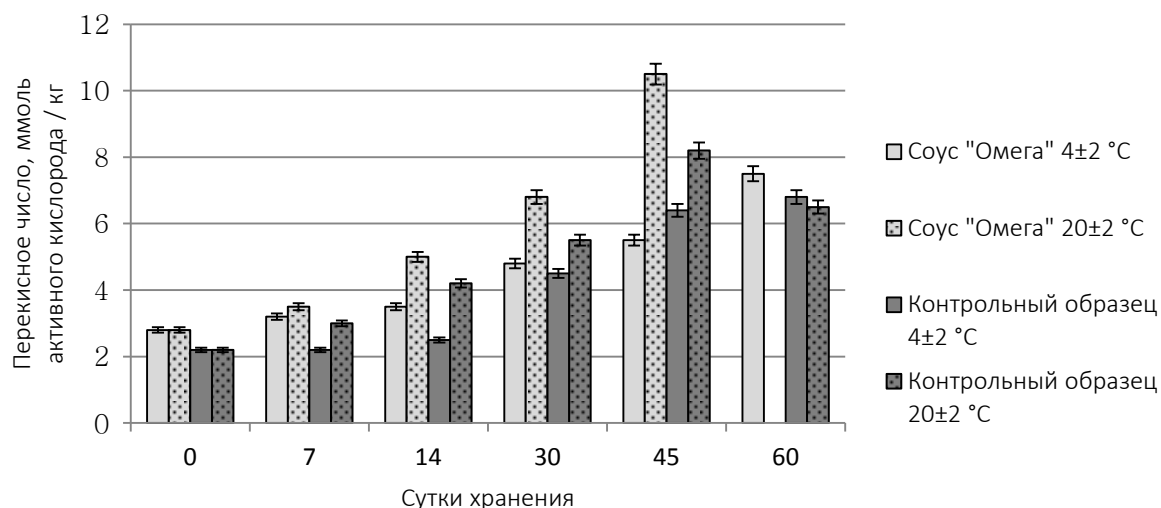


Рисунок 3.9 – Динамика роста перекисных чисел образцов соусов в процессе хранения

Рост перекисных чисел наиболее интенсивен в образцах, хранившихся в условиях комнатной температуры. Перекисное число эмульсионного соуса «Омега», хранившегося при комнатной температуре, превысило регламентированное значение на 45-е сутки хранения. Снижение перекисного числа контрольного образца, хранившегося при комнатной температуре на 60-е сутки хранения также свидетельствует о глубоко протекающих процессах окисления, сопровождающихся разрушением перекисей.

Помимо показателей безопасности хранимоспособность продукта определяется также изменением его органолептических показателей качества в процессе хранения. Органолептические свойства образцов соуса «Омега», хранившихся при различных условиях, оценивали по специальной шкале (приложение В). Изменение органолептических показателей образцов соусов представлено на диаграммах на рисунке 3.10.

Суммарная оценка органолептических показателей образца соуса «Омега», хранившегося при температуре 20±2 °C составляла от 96,1 до 84,5 баллов на 7-е, 14-е и 30-е сутки хранения, что соответствовало «отличному» и «хорошему» качеству продукта. На 45-е сутки хранения качество продукта оценивалось как «неудовлетворительное», что связано, прежде всего, с существен-

ным ухудшением внешнего вида и цвета соуса. Наблюдалось расслаивание эмульсии, неоднородность консистенции и неравномерность цвета. Кроме того, ввиду интенсификации процессов перекисного окисления липидов, отмечалось появление неприятных прогорклых вкуса и запаха. Ввиду существенных изменений качества образец не исследовался на 60-е сутки хранения.

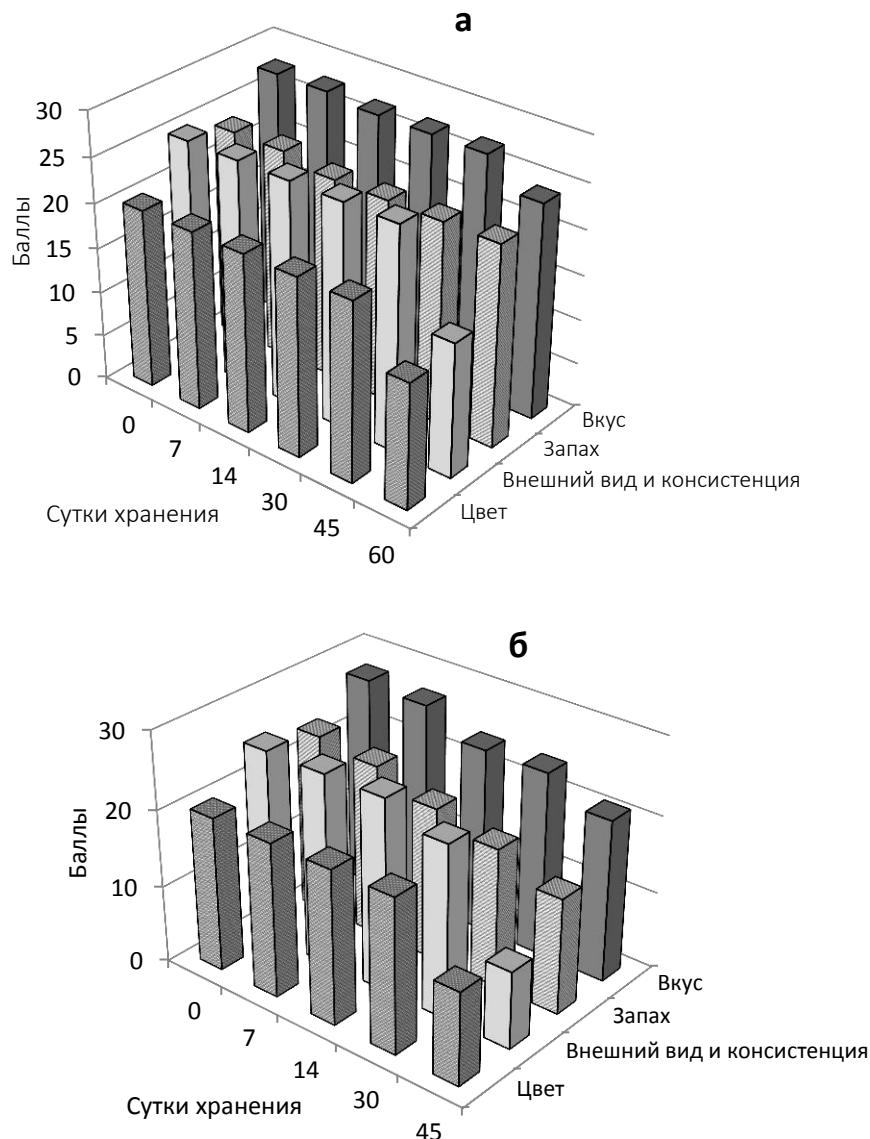


Рисунок 3.10 – Изменение органолептических показателей образцов соуса «Омега» при температуре хранения: а) 4 ± 2 °C; б) 20 ± 2 °C

Органолептические показатели качества образца соуса «Омега», хранившегося при температуре 4 ± 2 °С, оставались стабильными с начала хранения до 45-х суток. Сумма показателей качества составляла 96,1-94,5 баллов, что соответствовало «отличному» качеству продукта». На 60-е сутки хранения сумма показателей качества составляла 75,5 баллов, что соответствовало «удовлетворительному» качеству продукта. Отмечалось также расслаивание эмульсии, неоднородность консистенции и цвета продукта.

Таким образом, на основании анализа изменения микробиологических показателей, показателей окислительной порчи и органолептических свойств образцов продуктов, установлено, что продукт остается безопасным для потребителя и обладает высокими показателями качества на протяжении 45 суток при хранении при температуре 4 ± 2 °С и на протяжении 30 суток при хранении при температуре 20 ± 2 °С. Для сохранения полиненасыщенных жирных кислот соус «Омега» рекомендуется хранить при температуре 4 ± 2 °С.

3.7.4 Характеристика готового продукта

В таблице 3.24 представлен общий химический состав соуса «Омега».

Таблица 3.24 – Общий химический состав эмульсионного соуса «Омега», %

Показатель	Содержание
Влага	$28,5\pm 0,6$
Жир	$66,5\pm 1,0$
Белок	$1,72\pm 0,06$
Зола	$1,39\pm 0,07$
Углеводы*, в т.ч.:	$1,71\pm 0,09$
пищевые волокна	$0,21\pm 0,01$

* по разности

Содержание жира в эмульсионном соусе «Омега» в количестве 66,5 % находится на уровне, регламентированном в ГОСТ 31761-2012 «Майонезы и соусы майонезные. Общие технические условия» для категории «майонезы» (не менее 50 %).

На основании жирнокислотного состава полученных из вторичного рыбного сырья жиров был рассчитан жирнокислотный состав и показатели сбалансированности жировой фракции соуса «Омега» (таблица 3.25).

Таблица 3.25 – Жирнокислотный состав и показатели сбалансированности жировой фракции соуса «Омега»

Код жирной кислоты / показатель	Содержание, % от суммы жирных кислот, в жировой фракции эмульсионного соуса:			
	без обогащения	обогащенного жиром скумбрии	обогащенного жиром копченой кильки	Физиологическое обоснованное значение для взрослого человека (МР 2.3.1.0253-21)
8:0	-	0,1	0,05	-
10:0	-	0,4	0,2	-
14:0	0,1	2,6	1,45	-
15:0	-	0,1	0,5	-
16:0	6,7	8,9	10,5	-
16:1 n7	0,1	1,1	1,7	-
17:0	-	0,1	0,3	-
17:1	-	0,1	0,2	-
18:0	3,55	3,1	3,2	-
cis 18:1 n9	25,75	21,2	25,6	-
cis 18:1 n7	-	0,5	0,8	-
cis 18:2 n6	62,6	44,25	44,6	-
cis 18:3 n6	-	0,03	0,6	-
cis 20:0	0,2	0,2	0,2	-

Продолжение таблицы 3.26

cis 18:3 n3	0,1	3,5	0,1	-
cis 20:1 n9	0,2	0,4	1,1	-
cis 20:2 n6	-	2,1	0,2	-
cis 20:3 n3	-	4,3	0,3	-
cis 22:0	0,6	0,5	0,4	-
cis 22:1 n9	-	0,1	0,1	-
cis 20:4 n6	-	-	0,03	-
cis 20:5 n3	-	2,7	3,1	-
24:0	0,1	0,1	0,15	-
cis 24:1 n9	-	0,1	0,1	-
cis 22:5 n3	-	0,4	0,4	-
cis 22:6 n3	-	2,75	4,45	-
ΣНЖК, % от суммы ЖК	11,3	16,25	16,8	-
ΣМНЖК, % от суммы ЖК	26,0	23,5	29,6	-
ΣПНЖК, % от суммы ЖК	62,7	60,0	53,4	-
НЖК:МНЖК:ПНЖК	1:2,4:5,5	1:2,5:3,7	1:1,8:3,1	1:1:1
Сумма омега-3, % от суммы ЖК	0,1	13,6	8,35	-
Сумма омега-6, % от суммы ЖК	62,6	46,5	45,5	-
омега-3 : омега-6	1:626	1:3,4	1:5,4	1:5-10
ЭПК + ДГК, % от суммы ЖК	0	5,4	7,5	0,25 г
АЛК, % от суммы ЖК	0,1	3,5	0,1	1,0 г
БЭ	5,55	3,7	3,2	1

Обогащение жировой фракции эмульсионного соуса на основе подсолнечного масла рыбными жирами позволило дополнить состав продукта эссенциальными омега-3 жирными кислотами, в том числе, ЭПК и ДГК, что позволило существенно улучшить соотношение омега-3 : омега-6 в соусе, приблизив его к рекомендуемому 1:5-10. 50 % суточной потребности челове-

ка в ЭПК и ДГК содержится в 7 г соуса, обогащенного жиром скумбрии и в 6 г соуса, обогащенного жиром копченой кильки. По содержанию этих эссенциальных жирных кислот соус «Омега» можно отнести к функциональным продуктам и рекомендовать к употреблению людям, имеющим риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, взамен традиционных заправочных соусов.

Органолептические показатели эмульсионного соуса представлены в таблице 3.27.

Таблица 3.27 – Органолептические показатели эмульсионного соуса «Омега»

Наименование показателя	Характеристика для соуса, изготовленного с добавлением:	
	жира скумбрии	жира копченой кильки
Внешний вид, консистенция	Однородная сметанообразная консистенция, слегка тянущаяся и желеобразная	Однородная сметанообразная консистенция, слегка тянущаяся и желеобразная
Вкус и запах	Свойственные майонезной продукции, с легкими оттенками рыбы, без признаков прогорклости	Свойственные майонезной продукции, с легкими оттенками рыбы и копчения, без признаков прогорклости
Цвет	Желтовато-кремовый, однородный по всей массе	Желтовато-кремовый, однородный по всей массе

Физико-химические показатели качества соуса «Омега» представлены в таблице 3.28.

Таблица 3.28 – Физико-химические показатели эмульсионного соуса «Омега»

Наименование показателя	Значения:	
	установленные для эмульсионного соуса «Омега»	установленные в ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024
Массовая доля жира, %,	66,5±1,01	не менее 60

Продолжение таблицы 3.28

Кислотность, % в пересчете на уксусную кислоту	0,21 ±0,01	не более 0,25
Стойкость эмульсии, процент неразрушенной эмульсии	99,6±0,03	не менее 99,0
Массовая доля влаги, %,	28,48±0,56	не более 30,00
Массовая доля яичных продуктов в пересчете на сухой желток, %*	3,0±0,01	не менее 2,50
Йодное число жировой фракции, г/100 г, не менее	133,0±2,3	не менее 130

*Расчетные значения

Показатели окислительной порчи (перекисное число), содержание тяжёлых элементов, афлатоксина В₁, пестицидов, радионуклидов в соусе не должны превышать допустимые уровни, установленные ТР ТС 024/2011 и ТР ТС 021/2011 (таблица 3.29).

Таблица 3.29 – Показатели безопасности эмульсионного соуса «Омега»

Наименование показателя	Единицы измерения	Допустимые уровни, не более
Показатели окислительной порчи:		
Перекисное число	ммоль активного кислорода / кг	10,0
Токсичные элементы:		
Свинец	мг / кг	0,3
Мышьяк		0,1
Кадмий		0,05
Ртуть		0,05
Афлатоксин В ₁	мг / кг	0,005

Продолжение таблицы 3.29

Пестициды:		
ГХЦГ (α, β, γ- изомеры)	мг / кг	0,05
ДДТ и его метаболиты		0,2
Радионуклиды:		
Цезий 137	Бк / кг	60
Стронций 90		80
Бенз(а)пирен (для соуса, выработанного с использованием жира из копченого рыбного сырья)	мг / кг	0,001

Микробиологические показатели безопасности эмульсионного соуса «Омега» в соответствии с ТР ТС 021/2011, 024/2011 представлены в таблице 3.30.

Таблица 3.30 – Микробиологические показатели безопасности эмульсионного соуса «Омега»

Показатель	Значение
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	не допускается в 25 г
БГКП	не допускается в 0,1
Дрожжи	не более 5×10^2 КОЕ/г
Плесневые грибы	не более 50 КОЕ/г

Разработанный продукт – эмульсионный соус, обогащенный жиром из вторичного рыбного сырья, характеризуется благоприятными органолептическими характеристиками, стабильной консистенцией, безопасностью на протяжении срока хранения, а также содержит необходимые человеку омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, сбалансированные по содержанию с омега-6 жирными кислотами, на функциональном уровне. Соус «Омега» может выступать в качестве альтернативы майонезной продукции и рекоменду-

ется для употребления всем категориям взрослого населения для минимизации дефицита в рационе омега-3 ПНЖК, а также людям, находящимся в группе риска по развитию сердечно-сосудистых заболеваний в качестве профилактической функциональной продукции.

3.8 Получение биодизеля на основе рыбного жира технического назначения

Биодизельное топливо является альтернативным источником энергии, его особенность заключается в экологической чистоте, возможности его производства из возобновляемых ресурсов и безопасности в эксплуатации [26, 39, 49, 70, 79, 80]. Производство биодизельного топлива относится к актуальным направлениям развития топливно-энергетического сектора России. Использование для этих целей некондиционных рыбных жиров открывает перспективную возможность совершенствования данного производства на основе нового сырьевого источника.

Классическая схема основана на реакции переэтерификации. В этой реакции масло или любой другой источник триглицеридов в присутствии катализатора вступает в реакцию с одноатомными спиртами, образуя моноалкильные эфиры жирных кислот (биодизель) и глицерин как побочный продукт [39, 49, 63].

Выделенный из вторичного рыбного сырья жир, не соответствующий по характеристикам безопасности пищевым целям, использовали для получения биодизеля путем совершенствования имеющихся технологий [63, 79, 80].

Для обоснования технологии и режимов получения биодизеля были испытаны несколько видов катализаторов реакции переэтерификации с этиловым спиртом для выбора катализатора, дающего наибольший выход этиловых эфиров жирных кислот. Среди рассмотренных катализаторов: серная кислота, гидроокись калия и гидроокись натрия.

Предварительно осуществляли нейтрализацию свободных жирных кислот рыбного жира слабым раствором гидроксида натрия или гидроксида калия до показателя кислотного числа не более 1 мг КОН / г.

Реакцию переэтерификации осуществляли в колбе, снабженной обратным холодильником. Об окончании реакции судили по образованию смеси продуктов и прекращению кипения спирта при заданной температуре, продуктом реакции являются этиловые эфиры жирных кислот и глицерин.

Расход сырья и материалов и выход биодизеля при использовании различных катализаторов представлен в таблице 3.31.

Таблица 3.31 – Расход сырья и материалов, кг на 100 кг реакционной смеси (рыбный жир + этанол) при производстве биодизеля

№ эксперимента	1	2	3
Количество рыбного жира	80	80	80
Количество этилового спирта (95 %)	20	20	20
Тип катализатора и его количество, кг	серная кислота концентрированная, 1	натрия гидроокись, 1	калия гидроокись, 1
Температура реакции, °С	75-80	75-80	75-80
Продолжительность реакции, ч	8	8	8
Выход биодизеля, %	79,5	65,6	66,0

Анализ способов получения биодизеля показал следующее. При получении биодизеля кислотным катализом процесс проходит с минимальными техническими сложностями. При использовании гидролиза на щелочном катализаторе требуется технически сложные установки с отделением получившейся воды в реакторе. Для дальнейшей разработки технологии был выбран кислотный катализ.

Технологическая схема производства биодизеля представлена на рисунке 3.11.

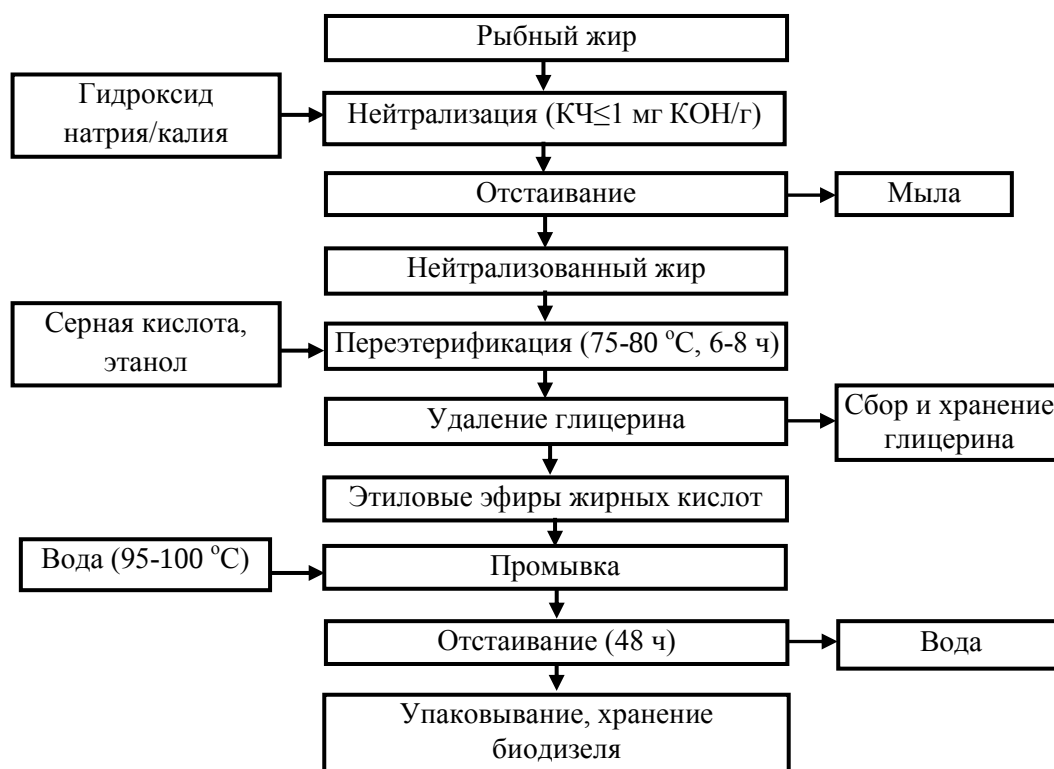


Рисунок 3.11 – Технологическая схема получения биодизеля (этиловых эфиров жирных кислот) из жира вторичного рыбного сырья

Нейтрализованный рыбный жир промывают водой и загружают в установку с обратным холодильником и смешивают компоненты в реакторе для дальнейшего проведения реакции перезэтерификации с получением этиловых эфиров жирных кислот. Реакция проходит при температуре 75-80 °С в течение 6-8 часов при постоянном перемешивании 50-80 об/мин. После проведенной реакции перезэтерификации полученный биодизель отделяют от глицерина и промывают горячей технической водой с температурой 95-100 °С с последующей очисткой готового продукта.

Промышленное оборудование для производства биодизеля должно обладать химической стойкостью перед агрессивным катализатором, используемым при повышенной температуре. На рынке уже имеются готовые биоре-

акторы для производства биодизеля, соответствующие данным характеристикам.

Полученный биодизель был проверен по качественным характеристикам в соответствии с ГОСТ 33131-2014 Смеси биодизельного топлива (B6 - B20) (таблица 3.32).

Таблица 3.32 – Показатели качества биодизеля, полученного из рыбного жира вторичного сырья копченой балтийской кильки

Наименование показателя	Значение:	
	для полученного биодизеля	установленное ГОСТ 33131-2014
Кинематическая вязкость при 20 °C, мм ² / с	31,4±0,5	19-41
Температура вспышки, °C	190	не менее 52
Плотность при 20 °C, г / см ³	0,9108±0,001	0,9634
Массовая доля механических примесей	отсутствие	отсутствие
Содержание воды, %	0,005±0,001	не более 0,05
Зольность, %	менее 0,002	не более 0,01
Водорастворимые кислоты и щелочи	отсутствие	отсутствие
Испытание на медной пластинке	1 класс	не менее 3 класса
Кислотность, мг КОН / 100 см ³	0,08±0,01	не более 0,3

Полученный биодизель по некоторым характеристикам имеет преимущества перед обычным минеральным топливом. Такая характеристика, как температура вспышки 190 °C, говорит о его высокой степени пожаробезопасности, по сравнению с обычным минеральным дизельным топливом. Испытания на медной пластинке показали, что это топливо относится к 1 клас-

су, характеризующемуся минимальным коррозионным воздействием. Пониженная плотность говорит о меньшей вязкости биодизеля по сравнению с минеральным дизельным топливом. Биодизель является углеродно-нейтральным при воздействии на окружающую среду.

Исходя из полученных результатов, можно сделать заключение о возможности использования рыбного жира пониженного качества, не пригодного для пищевых целей, в производстве биодизеля. Полученные характеристики биодизеля свидетельствуют о возможности его использования в двигателях внутреннего сгорания взамен части минерального дизельного топлива (до 20 %) [39, 49], регламентируемого ГОСТ 33131-2014 «Смеси биодизельного топлива (B6-B20)».

На биодизель из технического рыбного жира разработана техническая документация ТУ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира» и ТИ к ним (приложения Л, М).

4 ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ

Технология производства эмульсионного соуса «Омега», обогащенного рыбным жиром, полученным из вторичного сырья, успешно апробирована в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» (акт внедрения от 07.02.2024 г., приложение Н). В ходе производственных испытаний было выработано 50 г стабильного эмульсионного продукта (соуса «Омега»), проведена его дегустационная оценка, на основании которой сделано заключение о высоком качестве продукта. Технология рекомендована к внедрению.

Расчет экономической эффективности производства соуса «Омега» (приложение П) показал, что при производстве 125 т продукции в год при рентабельности 10 % чистая прибыль составит 4651036,58 руб., срок окупаемости – 1,1 года. Основные показатели экономической эффективности производства представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные показатели экономической эффективности производства эмульсионного соуса «Омега»

Показатель	Ед. изм.	Значение в год
Годовая производственная мощность	т	125
Производственная программа выпуска продукции, 0,25 кг	шт.	500000
Себестоимость единицы продукции, т:	руб.	49477088,75
Оптовая цена единицы продукции, 0,5 кг:	руб.	108,85
Затраты на 1 рубль товарной продукции	руб.	0,09
Капитальные затраты	руб.	5065760
Численность промышленно-производственного персонала	чел.	13
Фонд оплаты труда	руб.	8194560
Прибыль	руб.	4947911,25

Продолжение таблицы 4.1

Налог на прибыль	руб.	296874,67
Чистая прибыль	руб.	4651036,58
Рентабельность	%	10
Фондоотдача	руб./руб.	10,74
Срок окупаемости	лет	1,1

Технология производства биодизеля на основе жира, полученного из вторичного рыбного сырья, успешно апробирована в производственных условиях ООО «Биотех» (акт внедрения от 10.06.2024 г., приложение Р), в ходе которых было выработано 3,0 л биодизеля (этиловых эфиров жирных кислот). На основании положительных результатов исследования показателей качества биотоплива технология рекомендована к внедрению.

Расчет экономической эффективности производства биодизеля на основе жира из вторичного рыбного сырья (приложение С) показал, что при производстве 300 т продукции в год при рентабельности 10 % чистая прибыль составит 1492709,47 руб., срок окупаемости – 4,7 года. Основные показатели экономической эффективности производства представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные показатели экономической эффективности производства биодизеля на основе жира из вторичного рыбного сырья

Показатель	Ед. изм.	Значение в год
Годовая производственная мощность	т	300
Производственная программа выпуска продукции, 200 л	шт.	1500
Себестоимость единицы продукции, т	руб.	60166,28
Оптовая цена единицы продукции, 200 л	руб.	13356,58
Затраты на 1 рубль товарной продукции	руб.	0,44
Капитальные затраты	руб.	7132664,3

Продолжение таблицы 4.2

Численность промышленно-производственного персонала	чел.	9
Фонд оплаты труда	руб.	6293760
Прибыль	руб.	1587988,8
Налог на прибыль	руб.	95279,33
Чистая прибыль	руб.	1492709,47
Рентабельность	%	10
Фондоотдача	руб./руб.	2,25
Срок окупаемости	лет	4,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно обоснована ферментативная технология получения жира из наиболее массового вторичного рыбного сырья Калининградской области – отходов от разделки атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки. Обосновано применение полученных жиров в зависимости от критериальных показателей безопасности для производства пищевого эмульсионного соуса функционального уровня качества и топливного биодизеля.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ научных и патентных источников показал, что перспективным способом получения рыбного жира является биотехнологический, основанный на применении протеолитических ферментных препаратов; актуальным направлением пищевого применения жира из вторичного рыбного сырья является введение его в состав эмульсионных продуктов; в случае повышенной порчи жира рационально его направлять на производство биодизеля;

2. Обоснован выбор вторичного рыбного сырья – голов атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки – в качестве эффективных источников жира, что обусловлено его высоким содержанием (9,5-20,3 и 15,8-28,0 % соответственно) и масштабностью отходов. Обоснованы критериальные показатели качества жиров, полученных биотехнологическим способом, обуславливающие их направление на пищевые или технические цели;

3. Получены математические модели, связывающие выход жира из вторичного рыбного сырья с дозировкой ферментного препарата и продолжительностью гидролиза, в зависимости от вида фермента. Для каждого вида сырья и ферментного препарата установлены оптимальные значения варьируемых факторов гидролиза, обуславливающие извлечение из данного сырья наибольшего количества жира при наименьшей степени его окисления;

4. Обосновано применение активированного угля для адсорбционной очистки экстрагированного жира из голов копченой кильки для эффективного снижения содержания полициклических ароматических углеводородов до безопасного пищевого уровня: бенз(а)пирена – на 86 %, бензо(б)флуорантена – на 60 %, бенз(а)антрацена – на 53,5 %, хризена – на 72 %;

5. Установлены показатели физиологической эффективности, качества и безопасности пищевых рыбных жиров, соответствующие требованиям МР 2.3.1.0253-21 и ТР ЕАЭС 040/2016: содержание полиненасыщенных жирных кислот в жире из голов скумбрии – 53,9 %, в том числе омега-3 ЖК – 44,9 %, в жире из голов копченой кильки – 31,9 %, в том числе омега-3 ЖК – 27,7 %. Рассчитанные коэффициенты биологической эффективности, жирнокислотной сбалансированности, атерогенности, тромбогенности, гипохолестеринемический показатель обуславливают их применение для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний;

6. Получена математическая модель рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного рыбным жиром, на основе которой установлены оптимальные дозировки жира и яичного порошка; разработана технология соуса «Омега», обеспечивающая получение продукта функционального уровня качества по содержанию ПНЖК, ЭПК и ДГК. Установлены показатели качества и безопасности соуса при хранении, рекомендуемый срок годности 45 суток при температуре 4 ± 2 °C;

7. Методом переэтерификации рыбного жира технического назначения с этиловым спиртом при обоснованных условиях получен опытный образец биодизеля, установлены его показатели качества, соответствующие ГОСТ 33131-2014, которые подтверждают возможность его использования в составе смеси биодизельного топлива.

8. Разработана и утверждена техническая документация: ТУ 10.20.42-035-00471544 «Субпродукты рыбы жиросодержащие мороженые», ТУ и ТИ 10.41.12.110-036-00471544-2024 «Жир рыбный пищевого и технического

назначения», ТУ и ТИ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»; ТУ и ТИ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира».

9. Технологии получения эмульсионного соуса и биодизеля апробированы в производственных условиях ООО «Восходящая звезда» и ООО «Биотех». Оценка экономической эффективности разработок свидетельствует о рациональности их внедрения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АЛК – альфа-линоленовая кислота;
- АРК – арахидоновая кислота;
- АПФ – ангиотензинпревращающий фермент;
- БАВ – биологически активное вещество;
- БАД – биологически активная добавка;
- БГКП – бактерии группы кишечной палочки;
- БОА – бутилоксианизол;
- БОТ – бутилокситоулол;
- БА – бенз(а)антрацен;
- БП – бенз(а)пирен;
- БФ – бензо(б)флуорантен
- ВВП – валовой внутренний продукт;
- ГЛК – гамма-линоленовая кислота;
- ГХЦГ – гексахлорциклогексан;
- ДГК – докозагексаеновая кислота;
- ДДД – дихлордифенилдихлорэтан;
- ДДТ – дихлордифенилтрихлорметилметан;
- ДДЭ – дихлордифенилдихлорэтилен;
- ЖК – жирная кислота;
- КОЕ – колониеобразующая единица;
- КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов;
- ЛК – линолевая кислота;
- МНЖК – моновенасыщенные жирные кислоты;
- НЖК – насыщенные жирные кислоты;

ОЦКП – ортогональный центральный композиционный план;

ПАУ – полициклические ароматические углеводороды;

ПГА – полигидроксиалканоаты;

ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты;

СП – суточная потребность;

СЭ – стойкость эмульсии;

ТУ – технические условия;

ТИ – технологическая инструкция;

ТР ТС – Технический регламент Таможенного союза;

ТР ЕАЭС – Технический регламент Евразийского экономического союза;

ФП – ферментный препарат;

Х – хризен;

ЭПК – эйкозапентаеновая кислота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова, Е.В. Исследование антиоксидантных свойств тритерпеноидов в составе жиросодержащих продуктов / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников, О.В. Чугунова // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 233–243.
2. Агафонова, С.В. Источники незаменимых полиненасыщенных жирных кислот ряда омега-3 в технологии БАД и функциональных продуктов / С.В. Агафонова, Л.С. Байдалинова // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 116-119
3. Агафонова, С.В. Антиоксидантная активность СО₂-экстрактов некоторых растений и перспективы их использования в технологии пищевых жиров / С.В. Агафонова, Л.С. Байдалинова // Вестник МАХ, 2015 г № 2, С. 13-17.
4. Агафонова, С.В. Оптимизация биотехнологического процесса выделения из рыбного сырья жира с повышенным содержанием ПНЖК / С.В. Агафонова, Л.С. Байдалинова // IV международный Балтийский морской форум: материалы Международного морского форума, Калининград, 22–28 мая 2016 года. – Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2016. – С. 1261-1264.
5. Агафонова, С.В. Соус на основе подсолнечного масла, обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья / С.В. Агафонова, **Л.В. Дамбарович** // Балтийский морской форум: Материалы VI Международного Балтийского морского форума, в 6 томах, Калининград, 03–06 сентября 2018 года. Том 4. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 3-6.

6. Агафонова, С.В. О возможности использования жира из вторичного сырья атлантической скумбрии *Scomber scombrus* в качестве источника незаменимых жирных кислот в питании человека / С.В. Агафонова, О.Я. Мезенова, **Л.В. Дамбарович** // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: сборник трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, посвященная Году науки и технологий, Керчь, 23–25 сентября 2021 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. – С. 16-21.

7. Агафонова, С.В. Оценка безопасности и биологической ценности очищенного жира из вторичного шпротного сырья/С.В. Агафонова, О.Я. Мезенова, **Л.В. Дамбарович** // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2023. – № 4(393). – С. 123-128.

8. Альраджаб, М. Технология и характеристика диетического продукта на основе икры горбуши и жира сардины иваси / М. Альраджаб, Л.В. Шульгина, Ю.В. Приходько, С.П. Касьянов // Известия ДВФУ. Экономика и управление. – 2021. – № 3. – С. 100–107

9. Антипова, Л.В. Химия пищи / Л.В. Антипова, Н.В. Дунченко // СПб.: Лань. – 2020. – С. 856

10. Артемова, А.Г. Технология получения жира из голов лососевых рыб ферментативным способом / А.Г. Артемова // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2013. – т. 9. – № 2. – С. 9-16.

11. Артюхова, С.А. Технология продуктов из гидробионтов / С.А. Артюхова, В.Д. Богданов, В.М. Дацун и др.; Под ред. Т.М. Сафроновой и В.И. Шендерюка. – М.: Колос, 2001. – 489 с.

12. Байдалинова, Л.С. Биотехнология гидробионтов / Л.С. Байдалинова, В.И. Киселев, А.С. Лысова [и др.]; под ред. О.Я. Мезеновой, В.П. Терещенко. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2004. – 460 С.

13. Байдалинова, Л.С. Получение жидкой функциональной добавки, стабилизированной растительным антиоксидантом, на основе жира из вторичного сырья семги / Л.С. Байдалинова, С.В. Агафонова // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2014: Труды XII Международной научной конференции, Калининград, 15–17 октября 2014 года / Под редакцией В.А. Волкогона. Том 1. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2014. – С. 190-193.

14. Боева, Н.П. Биологически активные добавки гипохолестеринемического действия из рыбных жиров / Н.П. Боева, Н.Н. Сидоров, А.М. Макарова, В.М. Белоцерковец // Рынок БАД. – 2002. – № 1(3).

15. Боева, Н.П. Использование эфирных масел для стабилизации концентрата ПНЖК / Н.П. Боева, Н.Н. Сидоров, В.М. Белоцерковец, Ю.А. Шатилова // Труды ВНИРО. – 2004. – Т. 143. – С. 115-117.

16. Боева, Н.П. Печень атлантических макрурусов – сырье для производства пищевого рыбного жира / Н.П. Боева, Е.В. Сергиенко, О.В. Бредихина, Ю.А. Баскакова // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова – 2013. – т. 9. – № 1. – С. 14-20.

17. Боева, Н.П. Новые подходы к технологии пищевого рыбного жира из голов лососевых рыб рода *Oncorhynchus* / Н.П. Боева, М.С. Петрова, А.Г. Артемова, Ю.А. Баскакова // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 158. – С. 162-166.

18. Бессонова, В.А. Полигидроксиалканоаты – новые биоматериалы / В.А. Бессонова, К.М. Ануфриева // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 7(63). – С. 25-27.

19. Бойцов, С.А. Субклинический атеросклероз как фактор риска сердечно-сосудистых осложнений / Бойцов С.А., Кухарчук В.В., Карпов Ю.А. // Кардиоваскулярная профилактика. – 2012. – № 11 (3). – С. 82-86.

20. Вострикова, Н.Л. Методические аспекты извлечения липидов из биологических матриц / Н.Л. Вострикова, О.А. Кузнецова, А.В. Куликовский // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – № 2. – С 1-21.

21. Ворслов, Л.О. «Квартет здоровья» – новая концепция современной профилактической медицины / Л.О. Ворслов, И.А. Тюзиков, С.Ю. Калинин // Лечащий врач. – 2015. – № 12. – С. 28.
22. Ворслов, Л.О. Назначение омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в рамках концепции «Квартета здоровья» / Л.О. Ворслов, И.А. Тюзиков, Д. А. Гусакова // Косметика и медицина. – 2016. – № 4. – С. 56-63.
23. Волова, Т. Г. Биосовместимые полимеры / Т. Г. Волова, Е. И. Шишаккая, О. Н. Шишацкий // Наука в России. – 2010. – № 1. – С. 4-8
24. Волова, Т.Г. Физико-химические свойства полигидроксиалканоев различного химического строения / Т.Г. Волова, Н.О. Жила, Е.И. Шишаккая // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2013. – Т. 55, № 7. – С. 775.
25. Волова, Т.Г. Влияние параметров электростатического формирования на характеристики наноматриксов из разрушаемых полиэфиров биопластотан / Т.Г. Волова, Д.Б. Гончаров, А.Г. Суковатый, Е.И. Шишаккая // Пластические массы. – 2013. – № 7. – С. 52-56
26. Гафуров, Н.М. Преимущества биодизельного топлива / Н.М. Гафуров, Р.Ф. Хисматуллин // Инновационная наука. – 2016. – № 5-2(17). – С. 72-74.
27. Гроза, Н.В. Терапевтическая роль полиненасыщенных жирных кислот и их производных в патофизиологических процессах / Н.В. Гроза, А.Б. Голованов, Е.А. Наливайко, Г.И. Мягкова // Вестник МИТХТ. – 2012. – Т. 7, № 5. – С. 3-16
28. Говорин, А.В. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты в лечении больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями / А.В. Говорин, А.П. Филев // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 95-102.
29. Громова, О.А. Мировой опыт омега-3 ПНЖК. Крупномасштабные клинические исследования омега-3 ПНЖК: об эффективности, доказательно-

сти и перспективах / О.А. Громова, И.Ю. Торшин, А.Г. Калачева, О.Н. Грачева // Сердце: журнал для практикующих врачей. – 2011. – Т. 10. – № 5(61). – С. 263-272.

30. Громова, О.А. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты. *A la guerre comme a la guerre, n' est pas?* / О.А. Громова, И.Ю. Торшин // Земский врач. – 2011. – № 7(11). – С. 28-34.

31. Громова, О.А. Кросс-секционное исследование риска различных заболеваний у женщин репродуктивного возраста на фоне крайне низкого потребления омега-3 полиненасыщенных жирных кислот / О.А. Громова, А. Н. Галустян, Т. Р. Гришина, А. Г. Калачева // Медицинский алфавит. – 2020. – №. 26. – С. 12-23.

32. Гропянов, Д.А. Разработка и исследование технологии полуфабриката эмульсионного соуса многофункционального назначения / Д.А. Гропянов. – Москва, 2004. – 20 с.

33. **Дамбарович, Л.В.** Вторичное рыбное сырье как источник ПНЖК ряда омега-3 / Л.В. Дамбарович // Дни науки: Материалы межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, 02–15 апреля 2018 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 65-68.

34. **Дамбарович, Л.В.** Соус на основе подсолнечного масла, обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами рыбного сырья / Л.В. Дамбарович, С.В. Агафонова // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященной 150-летию Периодической таблицы химических элементов: в 3 частях, Казань, 16–19 апреля 2019 года. Том Часть 2. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. – С. 268-271.

35. **Дамбарович, Л.В.** Жир из вторичного сырья скумбрии в технологии обогащенных эмульсионных продуктов / Л.В. Дамбарович, С.В. Агафонова // Балтийский морской форум: материалы VIII Международного Балтийского морского форума: в 6 т., Калининград, 05–10 октября 2020 года. Том 4. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2020. – С. 24-29.

36. **Дамбарович, Л.В.** Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании / Л. В. Дамбарович, С. В. Агафонова // Вестник Международной академии холода. – 2022. – № 2. – С. 48-55.

37. **Дамбарович, Л.В.** Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов / Л.В. Дамбарович, О.Я. Мезенова, С.В. Агафонова, Н.Ю. Романенко // Известия КГТУ. – 2023. – № 70. – С. 103-114.

38. **Дамбарович, Л.В.** Жир из вторичного рыбного сырья в аспекте получения биотоплива / Л.В. Дамбарович // Балтийский морской форум: Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 38-42.

39. Дворецкий, С.И. Производство биодизельного топлива из органического сырья / С.И. Дворецкий, А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № S2(39). – С. 126-135.

40. Добриян, Е.И. Функциональные молочные продукты, обогащенные ПНЖК семейства омега-3 и омега-6 / Е.И. Добриян, Е.А. Юрова, Н.А. Жижин // Молочная промышленность. – 2013. – № 11. – С. 45-46.

41. Дружинин, П.В. Уменьшение накопления отходов и развитие альтернативной энергетики / П.В. Дружинин, А.П. Щербак // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2014. – № 6(43). – С. 82-86.

42. Дмитриев, А.В. Основы спортивной нутрициологии / А.В. Дмитриев, Л.М. Гунина, – СПб: 2018. – С. 560
43. Елагина, А.С. Динамика потребления продуктов питания в РФ / А.С. Елагина // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 1-2. – С. 305-312.
44. Елагина, А.С. Объективность оценки международных показателей доступности продовольствия: на примере Индекса глобальной продовольственной безопасности / А.С. Елагина // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Т. 9ю – № 1-2. – С. 830-839.
45. Зайцева, М. Молоко с омега-3 – продукт будущего? / М. Зайцева, Е. Сафроненко // Молочная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 36-37.
46. Закирова, А.Н. Антиаритмические и гемодинамические эффекты омега-3 полиненасыщенных жирных кислот при сердечно-сосудистых заболеваниях / А.Н. Закирова, Н.Н. Закирова // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2022. – Т. 18, №. 2. – С. 209-217
47. Запорожская, Л.И. Анализ потребления лекарственных препаратов и БАД, содержащих в качестве основного действующего вещества рыбий жир / Л.И. Запорожская, И.В. Гаммель, Т.А. Хотина // Ремедиум. – 2013. – № 3. – С. 27-34.
48. Заяц, Е.А. Оценка пригодности рыб Дальневосточного бассейна для производства консервов «Шпроты в масле» / Е.А. Заяц, Э.Н. Ким // Материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. «Комплексные исследования в рыбохозяйственной области», 26 ноября 2021 г. Владивосток, 2022. – С. 179-184.
49. Капустин, В.М. Биодизельное топливо: преимущества, недостатки и перспективы промышленного производства / В.М. Капустин, С.А. Карпов, А.И. Сайдахмедов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2011. – № 4. – С. 49-54.

50. Калинин, Ю.А. «Квартет здоровья» – лечебно-профилактическая концепция антивозрастной медицины в борьбе со старением кожи / С. Ю. Калинин, Ю.А. Тишова, Д.А. Гусакова [и др.] // Дерматология. Приложение к журналу Consilium Medicum. – 2016. – № 2. – С. 32-39.

51. Кострова, Ю.Б. Методологические подходы к исследованию продовольственного рынка // Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции «Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты». – Курск: ФГБОУ ВО ЮЗГУ, 2018. – С. 91-93

52. Кострова, Ю.Б. Формирование рыночной системы реализации продовольственной продукции в РФ / Ю.Б. Кострова // Экономика и право: теоретические и практические проблемы современности: материалы международной научно-практической конференции, Казань, 03 марта 2016 года / Негосударственное образовательное учреждение высшего образования «Московская академия экономики и права», Рязанский филиал. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Бук», 2016. – С. 120-124.

53. Колупаева, Е.А. Современный взгляд на рыбий жир / Е.А. Колупаева, Л.М. Беляева // Медицинские новости. – 2013. – № 10 – С. 40–42.

54. Киселев, Е.Г. Масштабирование технологии синтеза биodeградируемых полигидроксиалканоатов в условиях опытного производства / Е.Г. Киселев, А.В. Демиденко, С.В. Барановский, Т.Г. Волова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия Биология. – 2014. – № 7. – С.134-147.

55. Красковская, К.А. Влияние антиоксидантов амаранта на фарши лососевых / К.А. Красковская, Т.Н. Слуцкая, А.А. Кузнецова // Научные труды SWorld. – 2015. – Т. 4. – № 4(41). – С. 17-21.

56. Кузнецова, И.В. Роль полиненасыщенных жирных кислот в обеспечении здоровья матери и ребенка / И.В. Кузнецова // Акушерство и гинекология. – 2014. – № 9. – С. 4-9.

57. Кулина, Е.В. Роль омега-3 жирных кислот при прогрессирующих заболеваниях почек / Е.В. Кулина, Ю.А. Смолина, И.М. Османов, В.С. Сухоруков // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2012. – № 4. – С. 81–86.

58. Ким, И.Н. Исследование содержания канцерогенных соединений в копченой рыбе промышленной выработки // Ким И.Н., Ким Г.Н., Кривошеева Л.В., Хитрово И.А. // Гигиена и санитария. – 2012. – № 2. – С. 41-47.

59. Ким, И.Н. Пищевая безопасность водных биологических ресурсов и продуктов их переработки / И.Н. Ким, А.А. Кушнирук, Г.Н. Ким. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 752.

60. Кытикова, О.Ю. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты в коррекции дислипидемии и снижении остаточного риска сердечно-сосудистых заболеваний / О.Ю. Кытикова, Т.П. Новгородцева, Ю.К. Денисенко, М.В. Антонюк, Т.А. Гвозденко // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2023. – № 87. – С. 124-137.

61. Латин, Н.Н. Применение CO₂-экстрактов пряностей в мясной промышленности Текст. / Н.Н. Латин, В.М. Банашек, Г.И. Касьянов // Мясная индустрия. – 2002. – № 7. – С. 29-33.

62. Левретов, А.М. Экспериментальные исследования моторных качеств смесового биодизельного топлива / А.М. Левретов, В.Д. Савицкий, Л.И. Левтерова // Автомобильный транспорт. – 2011. – № 28. – С. 81-84.

63. Макарова, С.Г. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты классов ω -3 и ω -6 как эссенциальный нутриент в разные периоды детства / С.Г. Макарова, Е.А. Вишнева // Педиатрическая фармакология. – 2013. – № 10(4) – С. 80-88.

64. Махутова, О.Н. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники / О.Н. Махутова, М.И. Гладышев // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2020. – Т. 106. – № 5. – С. 601-621.

65. Медведев, Д.А. Химические процессы, лежащие в основе порчи масложировой продукции / Д.А. Медведев, О.И. Лазовская, В.Н. Леонтьев // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – № 4(168). – С. 231-236.

66. Мезенова, О.Я. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов: учебное пособие / О.Я. Мезенова. – СПб.: Проспект Науки, 2015. – С. 96-100.

67. Мезенова, О. Я. Биотехнологические способы получения протеиновых и белково-минеральных добавок из вторичного рыбного сырья коптильных производств / О. Я. Мезенова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 2-3 (368-369). – С. 68-71.

68. Мезенова, О.Я. Особенности гидролизной технологии переработки вторичного копченого рыбного сырья / О.Я. Мезенова, Л.С. Байдалинова, С.В. Агафонова [и др.] // Балтийский морской форум: материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т., Калининград, 07–12 октября 2019 года. Том 4. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2019. – С. 127-133.

69. Мезенова, О.Я. Получение биодизеля из жира вторичного крабового сырья / О.Я. Мезенова, С.Н. Максимова // Известия ТИНРО. – 2023. – № 203(3) – С. 686-694

70. Мезенова, О.Я. Оценка потенциала липидов вторичного рыбного сырья в качестве биотехнологического субстрата для синтеза целевых продуктов / О.Я. Мезенова, С.В. Агафонова, Н.Ю. Романенко, Н.С. Калинина, В.В. Волков, Е.Г. Киселев, Н.О. Жила, Л.В. Дамбарович // Известия КГТУ. – 2024. № 74. С. 78-91.

71. Мишарина, Т.А. Антирадикальные свойства эфирных масел и экстрактов гвоздики и душистого перца // Т.А. Мишарина, Е.С. Алинкина, М.Б. Теренина, Н.И. Крикунова, В.И. Киселева, И.Б. Медведева, М.Г. Семенова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51. № 4. С. 417–423.

72. Николаева, С.В. Значение омега-3 полиненасыщенных жирных кислот для детей / С.В. Николаева, Д.В. Усенко, Е.К. Шушакова [и др.] // РМЖ. – 2020. – Т. 28, № 2. – С. 28-32.

73. Обоснование рациональных параметров гидролиза коллагенсодержащего высокоминерализованного копченого рыбного сырья / О.Я. Мезенова, Л.С. Байдалинова, В.В. Волков, С.В. Агафонова, Н.Ю. Мезенова, Е.А. Казиминова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2019. – № 4. – С. 46-50.

74. Патент № 2039793 Российская федерация, МПК C11B 1/10(2006.01). Способ получения рыбного жира «ЭЙКОНОЛ» / Заявка: 4885117/13; заявл. 21.11.1990; опубл. 20.07.1995. Попова И.М. Бикбов Т.М. Исаев В.А.; заявитель: Акционерное общество закрытого типа Научно-производственное предприятие «Тринита»: - 6с.: ил. – Текст: непосредственный

75. Патент № 2016123657 Российская Федерация, МПК C11B 1/00(2006.01). Способ получения жира из внутренностей рыб / № 2016123657; заявл. 4.06.2016; опубл. 19.12.2017. / Цибизова М.Е., Самойлова Д.А.; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Астраханский государственный технический университет»: - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

76. Патент №2224529 Российская федерация, МПК A61K 35/60 (2006.01), A61P 3/02 (2006.01). Способ получения лечебно-профилактического жира из печени рыб / Заявка: 2002100592/15; заявл. 20.09.2003; опубл. 27.02.2004. Кузнецов Ю.Н. Ярочкин А.П. Рыбин В.Г.; заявитель: Государственное унитарное предприятие Тихоокеанский научно-

исследовательский рыбохозяйственный центр: - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

77. Патент №2478695 Российская федерация, МПК C11B 1/00 (2006.01). Способ получения жира из печени рыб/ Заявка: 2011115763/13; заявл. 22.04.2011; опубл. 10.04.2013. Замылина Д.В., Боева Н.П., Сергиенко Е.В., Макарова А.М.; заявитель: Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научноисследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" (ФГУП "ВНИРО"): - 6с.: ил. – Текст: непосредственный.

78. Патент №2467056 Российская федерация, МПК C10L 1/02 (2006.01); C07C 67/02 (2006.01). Способ получения биотоплива из жиродержащих отходов гидробионтов/ Заявка: 2011107659/04; заявл. 28.02.2011; опубл. 20.11.2012. Мукатова М.Д., Чан Т.Н.; заявитель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный технический университет" (ФГОУ ВПО АГТУ): - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

79. Патент №2404230 Российская федерация, МПК C10L 1/08 (2006.01). Способ получения биодизтоплива / Заявка: 2009110375/13; заявл. 12.03.2009; опубл. 20.11.2010. Галынкин В.А., Гарабаджиу А.В., Еникеев А.Х.; заявитель: Закрытое акционерное общество "РОСБИО": - 8с.: ил. – Текст: непосредственный.

80. Патент №2440405 Российская федерация, МПК C10L 5/42 (2006.01), C11C 3/10 (2006.01). Способ получения биодизтоплива/ Заявка: 2010124049/05; заявл. 16.06.2010; опубл. 20.01.2012. Боева Н.П., Петрова М.С., Макарова А.М.; заявитель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГУП «ВНИРО»): - 7с.: ил. – Текст: непосредственный.

81. Патент №2427616 Российская федерация, МПК C11B 1/00 (2006.01) Способ получения рыбного жира «ЭЙКОНОЛ»; заявл. 10.03.2010: опубл. 27.08.2011. Исаев В.А., Павлова А.П., Гончаров А.М., Медведева Е.А., Бенцианов Л.М., Сафутин И.А., Тазетдинова А.В.; заявитель: Закрытое Акционерное Общество Научно-производственное предприятие «Тринита»: - 14с.: ил. – Текст: непосредственный.

82. Патент №2376781 Российская федерация, МПК A23D 7/00 (2006.01) A23L 1/30 (2006.01) Пищевая эмульсия оздоровительного действия "крозам" и способ ее получения; заявл. 28.10.2008: опубл. 27.12.2009. Исаев В.А., Титорский И.А., Бенцианова Н.В., Сафутин Г.В.; заявитель: Закрытое Акционерное Общество Научно-производственное предприятие «Тринита»: - 10с.: ил. – Текст: непосредственный.

83. Патент № 2642496 Российская Федерация, МПК C11B 1/00 (2006.01). Способ получения жира из внутренностей рыб / №2016123657; заявл. 14.06.2016: опубл. 25.01.2018. / Цибизова М.Е., Самойлова Д.А.; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный технический университет": - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

84. Патент № 2808332 Российская Федерация, МПК C10M 169/04 (2023.08), C10M 107/00 (2023.08), C10M 141/02 (2023.08), C10N 2040/20 (2023.08). Смазка для обработки металлов давлением: № 2023109680: заявл. 17.04.2023: опубл. 28.11.2023 /Карпов Ю.С., Кутявин А.Н.; заявитель: Акционерное общество «Чепецкий механический завод»: - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

85. Патент № 2548195 Российская Федерация, МПК A23L 1/39 (2006.01), A23L1/22 (2006.01). Способ производства соуса функционального назначения: № 2014116194: заявл. 22.04.2014: опубл. 20.04.2015 /Рыльская Л.А.; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государ-

ственный технологический университет": - 5с.: ил. – Текст: непосредственный.

86. Патент №1602289 Европейское патентное ведомство, МПК А23L23/10 (2005.02). Пастообразная композиция для соусов и т.п.: №05101260.7А: заявл. 18.02.2005: опубл. 07.12.2005 / Лабруни Т., Майер К., Мусер О., Цюрхер У.; заявитель «НЕСТЕК СА». – 7с.: ил. – Текст: непосредственный.

87. Патент № 20050244563 Соединенные Штаты Америки, МПК А23L23/10 (2005.02). Загущенный пищевой состав на основе нативного крахмала № US11/055,705: заявл. 11.02.2005: опубл.03.11.2005 / Cavalieri B., Cademartiri E., Dameno F.; заявитель Barilla G e R Fratelli SpA. – 5 с.: - Текст: непосредственный.

88. Петров, Б.Ф. Жировые отходы рыбоперерабатывающих производств и низкосортные рыбные жиры – вторичные сырьевые ресурсы / Б.Ф. Петров, Т.А. Мотылева, А.А. Ермолаев, М.Д. Мукатова // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 78-79.

89. Петров, Б.Ф. Антифрикционная смазка на основе жировых отходов рыбообрабатывающих предприятий / Б.Ф. Петров // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – № 7. – С. 50-53.

90. Плотникова, Е.Ю. Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний / Е.Ю. Плотникова, М.Н. Синькова, Л.К. Исаков // Лечащий врач. – 2018. – № 7. – С. 63-67.

91. Ржавская, Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих / Ф.М. Ржавская . – М.: Пищевая промышленность. – 1976. –472 с.

92. Сахалинова, Д.С. Экологически безопасный способ очистки хлопкового масла на разработанных композициях адсорбентов / Д.С. Салиханова, Ф.Э. Очилов, Ачилова [и др.] // Евразийский союз ученых. – 2019. – № 4-2(61). – С. 62-65.

93. Сафронова, Т.М. Сырье и материалы рыбной промышленности: учебник / Т. М. Сафронова, В. М. Дацун, С. Н. Максимова. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб: Лань, 2022. — 336 с.

94. Статистический бюллетень «Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах – 2019» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/bgd/reghb20_101/Main.htm [Дата обращения 12.03.2023].

95. Сорокина, Е.Ю. Жировые эмульсии: современное состояние проблемы при проведении интенсивной терапии у больных в критическом состоянии / Е.Ю. Сорокина // Медицина неотложных состояний. – 2014. – № 4 (59). – С. 29-36

96. Сытова, М.В. Биологически активные вещества вторичного сырья осетровых рыб / М.В. Сытова, Е.Н. Харенко, Е.Н. Аитова, В.Н. Герасимов // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2014. №3(57). С. 50-52

97. Скрыбина, Н.М. Комплексные исследования и разработка инновационных технологий и рецептур жировых продуктов нового поколения / Н. М. Скрыбина. – М., 2006. – 48 с.

98. Технология рыбы и рыбных продуктов / Под ред. А.М. Ершова: учебник. – Колосс, 2010. – 1064 с.

99. Тишков, С.В. Энергетический потенциал биоотходов Республики Карелия / С.В. Тишков, А.П. Щербак // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 3(143). – С. 25-31.

100. Тутельян, В.А. Здоровое питание для общественного здоровья // Общественное здоровье. – 2021. – 56-64 с.

101. Тютюнников, Б.Н. Химия жиров / Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий и др. – М.: Колос, 1992. – 440 с.

102. Тохирён, Б. Инновационная технология липосомирования в производстве БАД полифункционального действия/Б. Тохирен, Е.В. Вялых, А.Н. Австриевских, В.М. Позняковский // Ползуновский вестник. – 2018. – № 3. – С. 52-56.

103. Федеральная служба государственной статистики (Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах)

<https://rosstat.go.ru/compendium/document/13292>

104. Хасянова, М.В. Микронутриенты в лечении возрастной макулярной дегенерации / М.В. Хасянова // Уральский медицинский журнал. – 2018. – № 7(162). – С. 62-67.

105. Шабров, А.В. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи / А.В. Шабров, В.А. Дадали, В.Г. Макаров. – Москва: Авваллон. – 2003. – С. 165.

106. Швейкина, К.С. Производство комбинированных пищевых продуктов, богатых омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами, с использованием печени трески и ее жира / К.С. Швейкина., В.И. Волченко, А.Т. Перетрухина, Л.К. Куранова, С.С. Несвященко // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16, № 3 – С. 586-590

107. Шишкина, А.И. Значение полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 и перспективы производства рыбьего жира из тихоокеанских сельдевых/ А.И. Шишкина, Л.В. Шульгина// Материалы II Международной научно-практической конференции. Потребительский рынок XXI века: стратегии, технологии, инновации: / под общ. ред. канд. экон. наук В. А. Синюкова. – Хабаровск: РИЦ ХГУЭП, 2016. – С. 215-219

108. Целевая программа «Развитие прибрежного рыболовства в Калининградской области на 2013-2020 годы» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gov39.ru/news/101/36185/>.

109. Язенкова, Д.С. Обоснование и разработка ресурсосберегающей технологии переработки отходов от разделки промысловых рыб Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна. Автореф. дис..... канд. техн. наук: 05.18.04 / Д. С. Язенкова. – М. 2013. – С. 24

110. Agafonova, S.V. Evaluation of the balance of oils from fish by-products / S.V. Agafonova, O.Y. Mezenova, V.V. Volkov, A.I. Rykov / IOP con-

ference series: Earth and environmental science. Intern. conf. on Germany and Russia «Ecosystems without borders». – 2020. – P.689

111. Ascheiro, A. Dietary intake of marine ω -3 fatty acids. Fish intake and the risk of coronary heart disease among man / A. Ascheiro, E.B. Rimm, H.J. Hernafn et al. // New England journal of medicine. – 2015. – № 332. – P. 977-982.

112. Akesson, A. Low-risk diet and life-style habits in the primary prevention of myocardial infarction in men a population-based prospective cohort study / A. Akesson, S.C. Larsson, A. Discacciati, A. Wolk // J. Am. Coll. Cardiol. – 2014. – V.13. – P. 1299–1306.

113. Arumugam, A. Biohydrogen and polyhydroxyalkanoate co-production by *Enterobacter aerogenes* and *Rhodobacter sphaeroides* from *Calophyllum inophyllum* oil cake/Arumugam Aru, M. Sandhya, Venkatachalam Ponnusami // Bioresource Technology. – 2014. – V. 164. – P. 170 –176.

114. Afwanisa' Ab Razak, N. The Effective Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Removal from Waste Cooking Oils: The Best Evidence Review / Ab. Razak N. Afwanisa et al. // Chemical Engineering Transactions. – 2021. – Vol. 89. – P. 475-480.

115. Arterburn, L.M. Distribution, interconversion, and dose response of n-3 fatty acids in humans / L.M. Arterburn, E.B. Hall, H.J. Oken // Clin. Nutr. 2006. – Vol. 6. – P. 1467-1476.

116. Balk, E.M. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: Summary of the 2016 agency of healthcare research and quality evidence review / E.M. Balk, A.H. Lichtenstein // Nutrients. – 2017. – Vol. 9, № 8. – P. 1-13.

117. Bhatt, D.L. et al. Cardiovascular Risk Reduction with Icosapent Ethyl for Hypertriglyceridemia. New Engl. J. Med., 2019.

118. Calder, P.C. Mechanisms of action of (n-3) fatty acids / P.C. Calder // The Journal of Nutrition. – 2012. – Vol. 142. – №. 3. – P. 592-599.

119. Chen, J. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review / J. Chen, H. Liu // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21. N. 16. – P. 1-24.

120. Chitranjali, T. Omega-3 fatty acid concentrate from *Dunaliella salina* possesses anti-inflammatory properties including blockade of NF- κ B nuclear translocation / Chitranjali T., P.A. Chandran. G.M. Kurup // *Immunopharmacol. Immunotoxicol.* – 2015. – Vol. 37 (1). – P. 81-89

121. Christian, L. Lipid Profiles of Five Essential Phospholipid Preparations for the Treatment of Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Comparative Study / L. Christian, N. Birgit, B. Britta, P. Branko, F. Gert // *Lipids*. – 2020. – Vol. 55. – P. 271-278.

122. Chikwanha, O.C. Nutritional Enhancement of Sheep Meat Fatty Acid Profile for Human Health and Wellbeing / O.C. Chikwanha, P. Vahmani, V. Muchenje, M.E.R. Dugan, C. Mapiye // *Food Res. Int.* – 2018. – V. 104. – P. 25-38.

123. Comparative oxo-biodegradation study of poly- 3-hydroxybutyrate-co-3- hydroxyvalerate/polypropylene blend in controlled environments / Masood. F., Yasin. T., Hameed. A. // *Int. Biodeterior. Biodegrad.* – 2014. – V. 87. – P. 1-8.

124. Da Silva S.L. et al. Effect of Dietary Olive Leaves on the Lipid and Protein Oxidation and Bacterial Safety of Chicken Hamburgers During Frozen Storage / *Int. Food Res. J.*, 2018. – Vol. 25. – № 1. – P. 383–391.

125. Efsa Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA), Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre // *Efsa J.* – 2016. – Vol. 8. – P. 1462.

126. European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation Reiner Z., Catapano A.L., De Backer G., Graham I., Taskinen M.R., Wiklund O. et al. ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias: the Task Force for the management of dyslipidaemias of the European Society of Cardiology (ESC)

and the European Atherosclerosis Society (EAS). *Eur. Heart J.* – 2011. – 32(14). – P. 1769–818.

127. Ewa, S.W. Characteristics of polyunsaturated fatty acids ethyl esters with high alpha-linolenic acid content as a component of biologically active health-promoting supplements / S.W. Ewa, W. Tomasz, C. Katarzyna, V. Andrzej, S.P. Bozena, S. Kaja, B. Robert, W. Anna, R. Katarzyna // *Przemysl Chemiczny.* – 2014. – Vol. 93, №. 11. – P. 1923–1927.

128. FAO, Food and Agriculture Organisation. *The State of World Fisheries and Aquaculture.* FAO. Rome. 2016.

129. González, F.E., In time: importance of omega 3 in children's nutrition // *PubMed Central.* – 2017. – 5417803.

130. Ferguson, J.F. Omega-3 PUFA supplementation and the response to evoked endotoxemia in healthy volunteers / J.F. Ferguson, C.K. Mulvey, P.N. Patel // *Mol. Nutr. Food Res.* – 2014. – Vol. 58 (3). – P. 601–613.

131. Gladyshev, M.I. Preliminary estimates of the export of omega-3 highly unsaturated fatty acids (EPA + DHA) from aquatic to terrestrial ecosystems. *Lipids in aquatic ecosystems* / I.M. Gladyshev, T.M. Arts, N.N. Sushchik // *Springer.* – 2009. – Vol. 271. – P.179–210

132. Gladyshev, M.I. Content of essential polyunsaturated fatty acids in three canned fish species / I.M. Gladyshev, N.N. Sushchik, N.O. Makhutova, S.G. Kalachova // *International Journal of Food Science and Nutrition.* – 2009. – Vol. 60 – P. 224-230.

133. Ghaly, A.E. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review / A.E. Ghaly, V.V. Ramakrishnan, M.S. Brooks, S.M. Budge // *Journal of Microbial and Biochemical Technology.* – 2013. – № 5. – P. 107-129.

134. Gilyarevsky, S.R. The effectiveness of the use of omega-3 polyunsaturated fatty acids for primary and secondary prevention of cardiovascular diseases:

the current state of the problem / S.R. Gilyarevsky // Pharmateca. – 2010 – P. 11-9.

135. Harris, W.S., Poston W.C., Haddock C.K., Tissue n-3 and n-6 fatty acids and for coronary heart dis-ease events / W.S. Harris, W.C. Poston, C.K. Haddock // *Atherosclerosis*. – 2007. – 193(1). –P. 1-10.

136. Harwood, J.L. *The Biochemistry of Plants*. / Ed. P.K. Stumpf, New York: Acad. Press, 1980. – 55 P.

137. Huang, J. Purifying salmon oil using adsorption, neutralization, and a combined neutralization and adsorption process / J. Huang, S. Sathivel // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – 96(1). – P. 51–58.

138. Kostoglou-Athanassiou, I. The effect of omega-3 fatty acids on rheumatoid arthritis / I. Kostoglou-Athanassiou, L. Athanassiou, P. Athanassiou // *Mediterr J Rheumatol*. – 2020. – P. 190-194.

139. Kiu, X. Dietary supplements for treating osteoarthritis: a systematic review and metaanalysis / X. Kiu, G.C. Machado, J.P. Eyles // *Br. J. Sports Med*. – 2018. – Vol. 52 (3). – P. 167-175.

140. Klaus, W. Lange Omega-3 fatty acids and mental health / W. Klaus // *Global Health Journal*. – 2020. – № 4. – P. 18-30.

141. Kocatepe, D. Differences on lipid quality index and amino acid profiles of European Anchovy caught from different area in Turkey / D. Kocatepe, M. Erdem, I. Keskin, B. Kostekli // *Ukrainian journal of food science*. – 2019. – Vol. 7. – P. 6-15.

142. Lapillonne, A. Infants fed formula with added long chain polyunsaturated fatty acids have reduced incidence of respiratory illnesses and diarrhea during the first year of life / A. Lapillonne, N. Pastor, W. Zhuang // *BMC Pediatr*. – 2014. – P. 168.

143. Lehner, A. Fish consumption is associated with school performance in children in a non-linear way: Results from the German cohort study KiGGS / A.

Lehner, K. Staub, L. Aldakak, P. Eppenberger // *Evol. Med. Public Health.* – 2020. – № 3. – P. 2-11.

144. Lignot, B. Desalination of mussel cooking juices by electrodialysis: effect on the aroma profile / B. Lignot, C. Prost // *Food.* – 2005. – № 4. – P. 425-436.

145. Li, X. Therapeutic Potential of ω -3 Polyunsaturated Fatty Acids in Human Autoimmune Diseases / X. Li, X. Bi, S. Wang, Z. Zhang, F. Li // *Front Immunol.* – 2019. – № 4. – P.10.

146. Moura, M. del G. Brazilian oral herbal medication for osteoarthritis: a systematic review protocol. / M del. G. Moura, L.C. Lopes, M.W. Biavatti // *Syst Rev.* – 2016. – P. 86.

147. Michalak, A. Polyunsaturated Fatty Acids and Their Derivatives: Therapeutic Value for Inflammatory, Functional Gastrointestinal Disorders, and Colorectal Cancer / A. Michalak // *Frontiers in pharmacology.* – 2016. – P. 7-12.

148. Miles, E.A. Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids (LCPUFAs) and the Developing Immune System: A Narrative Review / E.A. Miles, C.E. Childs, P.C. Calder // *Nutrients.* – 2021. – P. 13.

149. Neuhofer, A. Impaired local production of proresolving lipid mediators in obesity and 17-HDHA as a potential treatment for obesity-associated inflammation / A. Neuhofer // *Diabetes.* – 2013. – P. 1945-1956.

150. Oh, K. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women: 20 years of follow-up of the Nurses' Health Study /K. Oh, F.B. Hu, J.E. Manson, M.J. Stampfer, W.C. Willett // *Am. J. Epidemiol.* – 2015. – 161. – P. 672-679.

151. Oe, M. Oral hyaluronan relieves knee pain: a review / M. Oe, T. Tashiro, H. Yoshida // *Nutr. J.* – 2016. – Vol. 15. – P. 11–20.

152. Pinelopi, S.S. The effects of a 6-month high dose omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids and antioxidant vitamins supplementation on cognitive function and functional capacity in older adults with mild cognitive impairment / S.S. Pinelopi, A. Eleni, A. George, P. Marios // *Nutrients.* – 2020. – Vol. 12, № 325. – P.1-17.

153. Pinela, J. Fish By-Products into Bioactive Fish Oil: The Suitability of Microwave-Assisted Extraction / J. Pinela, B. Fuente, M. Rodrigues // *Biomolecules*. – 2022. – 13(1).

154. Quang, V. Enhancing Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Content of Dairy-Derived Foods for Human Consumption / V. Quang, M.S. Bunmi, C. John, N.D. Peter, M.O. Aduli // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11. – № 743. – P. 1-23.

155. Rahman, N. Impact of various extraction methods on fatty acid profile, physicochemical properties, and nutritional quality index of Pangus fish oil / N. Rahman, S. Hashem, S. Akther, J.S. Jothi // *Food Sci. Nutr.* 2023. – 11(8). – P. 4688-4699.

156. Rarillag, E.R. Native starch-based thickened food composition / E.R. Rarillag, S.A. Fratellis, B. Gavalieri, E. Cademartiri // *Pat. Milan*. – № 156744.

157. Riedel, S.L. Lipid and fatty acid metabolism in *Ralstonia eutropha*: relevance for the biotechnological production of value-added products / S.L. Riedel, J. Lu, U. Stahl, C.J. Brigham // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2014. – Vol. 4. – P. 1469–1483.

158. Sekikawa, A. Effect of High-Dose Marine Omega-3 Fatty Acids on Atherosclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials / A. Sekikawa // *Nutrients*. – 2019. – 11(11). – 2599.

159. Simopoulos, A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases / A.P. Simopoulos // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. – 2006. – Vol. 60. – P. 502-507.

160. Svahn, S.L. Dietary Omega-3 Fatty Acids Increase Survival and Decrease Bacterial Load in Mice Subjected to *Staphylococcus aureus* Induced Sepsis / S.L. Svahn // *Infect. Immun.* – 2016. – Vol. 4. – P. 1205-1213.

161. Taati, M.M. Omega-3 fatty acids: anti-inflammatory effects to ensure the health / Taati M.M., Rezaei M.H., Keihan A.H. // *J. Mar. Med.* – 2020. – 2(3). – P. 135-149.

162. Talan, A. Bioconversion of oily waste to polyhydroxyalkanoates: Sustainable technology with circular bioeconomy approach and multidimensional impacts / A. Talan // *Bioresource Technology*. – 2020. – V. 11. – P. 1-16.

163. Tan, G.-Y.A. Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA): A Review / G.-Y.A. Tan // *Polymers*. – 2014. – V. 6. – P. 706-754.

164. The use of NaCl addition for the improvement of polyhydroxyalkanoate production by *Cupriavidus necator* / P. Passanha, G. Kedia, R.M. Dinsdale, A.J. Guwy et al. // *Biores. Technol.* – 2014. – V.163. – P. 287-294.

165. Thuoc, D.V. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* sp. M91. / D.V. Thuoc, V.T. Anh // *Appl. Biochem. Microbiol.* – 2021. – Vol. 57. – P. 219–225.

166. Tedeschi, S.K. Relationship between fish consumption and disease activity in rheumatoid arthritis / S.K. Tedeschi, J.M. Bathon, J.T. Giles, T.C. Lin // *Arthritis Care Res.* – 2018. – V. 3. – P. 327-332.

167. Townsend, N. Cardiovascular disease in Europe – epidemiological update 2015 / N. Townsend, M. Nichols, P. Scarborough, M. Rayner M // *Eur. Heart J.* – 2015.– P. 2696-2705.

168. Ulbricht, T.L.V. Coronary heart disease: seven dietary factors / T.L.V. Ulbricht, T.A.D. Southgate // *The Lancet*. – 1991. – Vol. 338. – P. 985-992.

169. Ulmann, L. Microalgal Fatty Acids and Their Implication in Health and Disease / Ulmann L. // *Mini Rev. Med. Chem.* – 2017. – P. 1112-1123.

170. Visseren, F.L.J. ESC Scientific Document Group; ESC National Cardiac Societies, 2021 ESC Guidelines on Cardiovascular disease prevention in clinical practice / F.L.J Visseren, F. Mach, V.M. Smulders // *Eur. Heart J.*,– 2021.– P. 3227-3337.

171. Wang, Y.Q. Influence of Tail Docking on Carcass Characteristics. Meat Quality and Fatty Acid Composition of Fat-tail Lambs / Y.Q. Wang, R.Z. Zhong, Y. Fang, D.W. Zhou // *Small Ruminant Res.* – 2018. – V. 162. – P. 17–21.

172. Watson, J.E. Emerging class of omega-3 fatty acid endocannabinoids & their derivatives / J.E. Watson, J.S. Kim, A. Das // Prostaglandins Other Lipid Mediat. – 2019. – P. 1-19.

173. Wei, D. Cellular production of n-3 PUFAs and reduction of n-6-to-n-3 ratios in the pancreatic beta-cells and islets enhance insulin secretion and confer protection against cytokine-induced cell death / D. Wei // Diabetes. bJ. – 2010.– P. 471-480.

174. Woo, S.J. Endogenous conversion of n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids attenuates K/BxN serum-transfer arthritis in fat-1 mice / S.J. Woo // J. Nutr. Biochem. – 2015.– P. 713-720.

175. Ye, P. Eicosapentaenoic acid disrupts the balance between Tregs and IL-17+ T cells through PPAR γ nuclear receptor activation and protects cardiac allografts. / P. Ye, J. Li, S. Wang, A. Xie, W. Sun // J. Surg. Res. – 2012.– P. 161-170.

176. Yates, C.M. Pharmacology and therapeutics of omega-3 polyunsaturated fatty acids in chronic inflammatory disease / C.M. Yates // Pharmacology & Therapeutics. – 2014. – 141 (3). – P. 272-282.

177. Yebra-Pimentel Critical Review about Human Exposure to Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins (PCDDs), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) through Foods // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2013. – 55(11). – P. 1590–1617.

178. Ziyatdinova, G.K. Natural phenolic antioxidants in bioanalytical chemistry: state of the art and prospects of development / G.K. Ziyatdinova, H.C. Budnikov // Russ. Chem. Rev. – 2015. – 84 (2). – P. 194–224.

179. Zhiheng, H. Optimization of fish oil extraction from *Lophius litulon* liver and fatty acid composition analysis / H. Zhiheng // Fish Aquat Sci. – 2022. – 25(2). – P. 76-89

Приложения

Приложение А

Патент на изобретение № 2809512 «Способ получения рыбного жира из вторичного копченого рыбного сырья»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2809512

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ РЫБНОГО ЖИРА ИЗ ВТОРИЧНОГО КОПЧЕНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Калининградский государственный технический университет" (RU)*

Авторы: *Агафонова Светлана Викторовна (RU), Мезенова Ольга Яковлевна (RU), Дамбарович Леонид Васильевич (RU)*

Заявка № 2023108915

Приоритет изобретения **07 апреля 2023 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **12 декабря 2023 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **07 апреля 2043 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0f63853164ba196f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов



Приложение Б

ТУ 10.20.42-035-00471544-2024 «Субпродукты рыбы жиросодержащие»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



СВЕРЖДАЮ:
«КГТУ»

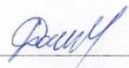
Волкогон
2024 г.

СУБПРОДУКТЫ РЫБЫ ЖИРОСОДЕРЖАЩИЕ
Технические условия

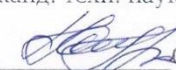
ТУ 10.20.42-035-00471544-2024

Дата введения: «12» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

 Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

 С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение В

Шкала органолептической оценки эмульсионного соуса «Омега»

Органолептическая характеристика и оценка качества полученного эмульсионного соуса проводится по разработанной 100 бальной шкале, с учётом коэффициентов значимости, представленной в таблице В1.

Таблица В.1 Органолептическая шкала для оценки качества эмульсионного соуса с рыбным жиром.

Баллы	Описание признака	
	Соус, обогащенный жиром скумбрии	Соус, обогащенный жиром копченой кильки
Вкус	Коэффициент весомости = 6	
5	Вкус, свойственный майонезной продукции, с легким привкусом рыбы, без признаков прогорклости	Приятный вкус, свойственный майонезной продукции, с копченым оттенком, с легким привкусом рыбы
4	Вкус, свойственный майонезной продукции, умеренно выраженный, не отталкивающий вкус рыбы, без признаков прогорклости	Вкус, свойственный майонезной продукции, умеренно выраженный, не отталкивающий вкус рыбы с копченым оттенком, без признаков прогорклости
3	Вкус, свойственный майонезной продукции, ярко выраженный отталкивающий вкус рыбы	Вкус, свойственный майонезной продукции, ярко выраженный отталкивающий рыбный вкус с копченым оттенком
2	Несвойственный майонезной продукции вкус, отталкивающий, резкий вкус рыбы с признаками прогорклости	Несвойственный майонезной продукции вкус, отталкивающий, резкий вкус рыбы с признаками прогорклости
1	Несвойственный майонезной продукции вкус, резко отталкивающий, явный прогорклый вкус	Несвойственный майонезной продукции вкус, резко отталкивающий, явный прогорклый вкус
Запах	Коэффициент весомости = 5	
5	Приятный легкий запах рыбы, без признаков про-	Приятный легкий запах рыбы с ароматом копчения,

	горклости	без признаков прогорклости
4	Умеренно выраженный, не отталкивающий запах рыбы, без признаков прогорклости	Умеренно выраженный, не отталкивающий запах рыбы с ароматом копчения, без признаков прогорклости
3	Ярко выраженный, отталкивающий запах рыбы, без признаков прогорклости	Ярко выраженный, отталкивающий запах рыбы и копчения, без признаков прогорклости
2	Отталкивающий, резкий запах рыбы, с признаками прогорклости	Отталкивающий, резкий запах рыбы и копчения, с признаками прогорклости
1	Резко отталкивающий, с явными признаками прогорклости	Резко отталкивающий, с явными признаками прогорклости
Внешний вид и консистенция	Коэффициент весомости = 5	
5	Однородный сметанообразный продукт, слегка тянущаяся и желеобразная консистенция	
4	Однородный сметанообразный продукт, жидкая слегка тянущаяся консистенция	
3	Однородный продукт, со слегка тянущейся консистенцией и небольшими масляными включениями	
2	Неоднородный, слегка расслаивающийся продукт	
1	Неоднородный, сильно расслаивающийся продукт	
Цвет	Коэффициент весомости = 4	
5	Желтовато-кремовый, однородный по всей массе	
4	Выраженный желтовато-кремовый, однородный по всей массе	
3	Желтовато-кремовый, излишне яркий, неоднородный	
2	Неравномерный, с различными небольшими включениями расслоившегося продукта от белого до слегка желтовато-кремового	
1	Неравномерный, с различными большими включениями расслоившегося продукта	

Приложение Г

ТИ к ТУ 10.41.12.110-036000471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ:
«КГТУ»

ОЛКОГОН
2024 г.

ЖИРЫ РЫБНЫЕ ПИЩЕВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
Технологическая инструкция

ТИ к ТУ 10.41.12.110-036-00471544-2024

Дата введения: «14» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

 Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

 С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение Д

ТУ 10.41.12.110-036000471544-2024 «Жиры рыбные пищевого и технического назначения»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



СВЕРЖДАЮ:
«КГТУ»

Волкогон
2024 г.

ЖИРЫ РЫБНЫЕ ПИЩЕВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
Технические условия

ТУ 10.41.12.110-036-00471544-2024

Дата введения: «12» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

Е.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение Е

Протокол испытаний № 3528ПК жира пищевого назначения из вторичного сырья скумбрии атлантической

Страница 1 из 2 (Протокол испытаний №3528ПК от 10.09.2024)

Общество с ограниченной ответственностью «Калининградский испытательный центр»
(ООО «КИЦ»)

Юридический адрес: 236010, г. Калининград, ул. Радистов, д. 56А, кв. 27

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Лицензия 39.КС.01.001.Л.000006.10.17

Место осуществления деятельности ИЛ: 236035, г. Калининград, ул. 5-ая Причальная, 1, литер «Д»
(помещения №№ 5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,24,25,26,27,28,29,30,32,33,39)

телефон +79216148271, e-mail: kic.dir@mail.ru



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИЛ
Васильева С.Ю.
10.09.2024

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ №3528ПК от 10.09.2024

Сведения, предоставленные заказчиком

Наименование заказчика:	Дамбарович Л.В.
Юридический адрес заказчика:	информация не предусмотрена
Фактический адрес заказчика:	г. Калининград
Наименование образца (пробы):	Жир скумбрии атлантической
Наименование изготовителя:	Дамбарович Л.В.
Юридический адрес изготовителя:	информация не предусмотрена
Фактический адрес изготовителя:	г. Калининград
План и методы отбора образца (пробы):	информация не предоставлена
Место, дата и время отбора образца (пробы):	ФГБОУ ВО «КГТУ», 20.08.2024
Дата изготовления, срок годности:	дата изготовления 20.08.2024
Образец отобран и доставлен заказчиком.	
Способ доставки:	автотранспорт
Цель испытаний:	контроль по заявленным показателям для целей диссертации
Нормативные документы (НД), устанавливающие величину допустимого уровня:	ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016
Дополнительная информация:	информация не предоставлена
Сведения испытательной лаборатории	
Дата и время поступления образца (пробы):	27.08.2024, 11 часов 30 минут
Сопроводительные документы:	направление Дамбарович Л.В. №б/н от 27.08.2024
Дата(-ы) проведения испытаний:	27.08.2024-10.09.2024
Дополнительная информация:	количество, поступившее на испытания: 50 мл

Определяемая характеристика (показатель), единица измерения	Документы, устанавливающие правила и методы испытаний, измерений	Результаты испытаний, измерений	Погрешность/неопределенность	Величина допустимого уровня
Показатели безопасности				
Массовая концентрация, мг/кг:				
- свинца	ГОСТ 30178-96	0,75	0,13	Не более 1,0 мг/кг
- мышьяка	ГОСТ Р 51766-2001	0,25	0,09	Не более 1,0 мг/кг
- кадмия	ГОСТ 30178-96	0,01	-	Не более 0,2 мг/кг
- ртути	ГОСТ 26927-86 п.2	0,09	0,02	Не более 0,3 мг/кг
Массовая концентрация, мг/кг:				
- ГХЦГ (α, β, γ-изомеров)	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 0,1 мг/кг
- ДДТ и его метаболитов (ДДЭ, ДДД)	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 0,2 мг/кг

Страница 2 из 2 (Протокол испытаний №3528ПК от 10.09.2024)

Полихлорированные бифенилы, мг/кг	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 3,0 мг/кг
Массовая концентрация гистамина, мг/кг	СТ РК 2787-2015	Менее 1,0	-	Не более 100 мг/кг

Информация о величине допустимого уровня предоставлена заказчиком.

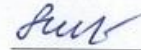
Ответственность за отбор образца (пробы) несет заказчик. Испытательная лаборатория не несет ответственности за информацию, предоставленную заказчиком.

Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу (пробе).

Испытания проведены в условиях, соответствующих требованиям документов, устанавливающих правила и методы испытаний, измерений.

Настоящий протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без документального разрешения испытательной лаборатории.

Ответственный за оформление протокола испытаний



Степанова Л.В.

.....Окончание Протокола испытаний №3528ПК от 10.09.2024.....

№ п/п	Наименование объекта	Место отбора	Дата отбора	Дата испытаний	Результат
1	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
2	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
3	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
4	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
5	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
6	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
7	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
8	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
9	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг
10	Молочный порошок	г. Алматы	10.09.2024	10.09.2024	Менее 0,0002 мг/кг

Приложение Ж

Протокол испытаний № 3528/1ПК жира пищевого назначения из вторичного сырья копченой балтийской кильки

Страница 1 из 2 (Протокол испытаний №3528/1ПК от 10.09.2024)

Общество с ограниченной ответственностью «Калининградский испытательный центр»
(ООО «КИЦ»)

Юридический адрес: 236010, г. Калининград, ул. Радистов, д. 56А, кв. 27

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Лицензия 39.КС.01.001.Л.000006.10.17

Место осуществления деятельности ИЛ: 236035, г. Калининград, ул. 5-ая Причальная, 1, литер «Д»
(помещения №№ 5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,24,25,26,27,28,29,30,32,33,39)

телефон +79216148271, e-mail: kic.dir@mail.ru



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИЛ
Васильева С.Ю.
10.09.2024

МП

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ №3528/1ПК от 10.09.2024

Сведения, предоставленные заказчиком

Наименование заказчика:	Дамбарович Л.В.
Юридический адрес заказчика:	информация не предусмотрена
Фактический адрес заказчика:	г. Калининград
Наименование образца (пробы):	Жир из голов кильки балтийской копченой
Наименование изготовителя:	Дамбарович Л.В.
Юридический адрес изготовителя:	информация не предусмотрена
Фактический адрес изготовителя:	г. Калининград
План и методы отбора образца (пробы):	информация не предоставлена
Место, дата и время отбора образца (пробы):	ФГБОУ ВО «КГТУ», 20.08.2024
Дата изготовления, срок годности:	дата изготовления 20.08.2024
Образец отобран и доставлен заказчиком.	
Способ доставки:	автотранспорт
Цель испытаний:	контроль по заявленным показателям для целей диссертации
Нормативные документы (НД), устанавливающие величину допустимого уровня:	ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016
Дополнительная информация:	информация не предоставлена
Сведения испытательной лаборатории	
Дата и время поступления образца (пробы):	27.08.2024, 11 часов 30 минут
Сопроводительные документы:	направление Дамбарович Л.В. №б/н от 27.08.2024
Дата(-ы) проведения испытаний:	27.08.2024-10.09.2024
Дополнительная информация:	количество, поступившее на испытания: 50 мл

Определяемая характеристика (показатель), единица измерения	Документы, устанавливающие правила и методы испытаний, измерений	Результаты испытаний, измерений	Погрешность/неопределенность	Величина допустимого уровня
Показатели безопасности				
Массовая концентрация, мг/кг:				
- свинца	ГОСТ 30178-96	0,15	0,05	Не более 1,0 мг/кг
- мышьяка	ГОСТ Р 51766-2001	0,06	0,02	Не более 1,0 мг/кг
- кадмия	ГОСТ 30178-96	0,01	-	Не более 0,2 мг/кг
- ртути	ГОСТ 26927-86 п.2	0,05	0,01	Не более 0,3 мг/кг
Массовая концентрация, мг/кг:				
- ГХЦГ (α, β, γ-изомеров)	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 0,1 мг/кг
- ДДТ и его метаболитов (ДДЭ, ДДД)	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 0,2 мг/кг

Страница 2 из 2 (Протокол испытаний №3528/ІПК от 10.09.2024)

Полихлорированные бифенилы, мг/кг	МВИ. МН 2352-2005	Менее 0,0002	-	Не более 3,0 мг/кг
Массовая концентрация гистамина, мг/кг	СТ РК 2787-2015	Менее 1,0	-	Не более 100 мг/кг

Информация о величине допустимого уровня предоставлена заказчиком.

Ответственность за отбор образца (пробы) несет заказчик. Испытательная лаборатория не несет ответственности за информацию, предоставленную заказчиком.

Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу (пробе).

Испытания проведены в условиях, соответствующих требованиям документов, устанавливающих правила и методы испытаний, измерений.

Настоящий протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без документального разрешения испытательной лаборатории.

Ответственный за оформление протокола испытаний

Л.В. Степанова

Степанова Л.В.

.....Окончание Протокола испытаний №3528/ІПК от 10.09.2024.....

Приложение И

ТИ к ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



СОУС ЭМУЛЬСИОННЫЙ «ОМЕГА»
Технологическая инструкция

ТИ к ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024

Дата введения: «17» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

 Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

 С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение К

ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024 «Соус эмульсионный «Омега»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



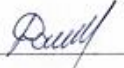
СЕРЖДАЮ:
«КГТУ»
Болкогон
2024 г.

СОУС ЭМУЛЬСИОННЫЙ «ОМЕГА»
Технические условия

ТУ 10.84.12.140-037-00471544-2024

Дата введения: «14» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

 Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

 С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение Л

ТИ к ТУ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ:
РЕКТОР ФГБОУ ВО «КГТУ»
В.А. Волкогон
«08» июня 2024 г.



БИОДИЗЕЛЬ (ЭТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ) ИЗ РЫБНОГО ЖИРА
Технологическая инструкция

ТИ к ТУ 20.59.59-002-00471544-2024

Дата введения: «06» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

Дамб Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

Агафонова С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение М

ТУ 20.59.59-001-00471544-2024 «Биодизель (этиловые эфиры жирных кислот) из рыбного жира»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»



БИОДИЗЕЛЬ (ЭТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ) ИЗ РЫБНОГО ЖИРА
Технические условия

ТУ 20.59.59-001-00471544-2024

Дата введения: «06» 06 2024 г.
Без ограниченного срока действия

Разработано:
аспирант кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»

 Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой
биотехнологии
ФГБОУ ВО «КГТУ»,
канд. техн. наук, доцент

 С.В. Агафонова

Калининград 2024 г.

Приложение Н

Акт производственных испытаний по выпуску эмульсионного продукта

Акт производственных испытаний

Утверждаю
 Главный технолог
 ООО «Восходящая звезда»
 М.И. Скулова
 « 7 » Восходящая Звезда 2024 г.



АКТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ООО «ВОСХОДЯЩАЯ ЗВЕЗДА»

(Калининградская область, Зеленоградский район, п. Котельниково,
 ул. Птицеводческая, д. 1)

ПО ВЫПУСКУ ЭМУЛЬСИОННОГО ПРОДУКТА ПО ТЕХНОЛОГИИ, ПРЕДЛОЖЕННОЙ ФГБОУ ВО «КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Комиссия в составе представителей:

от ООО «Восходящая звезда»: главный технолог Скулова Марина Ивановна

от ФГБОУ ВО «КГТУ»: аспирант кафедры пищевой биотехнологии Дамбарович Л.В.

доцент кафедры пищевой биотехнологии, к.т.н. Агафонова С.В.

зав. кафедрой пищевой биотехнологии, д.т.н., проф. Мезенова О.Я.

провела производственные испытания по выпуску эмульсионного продукта на основе масла подсолнечного и рыбного жира.

Настоящий акт составлен о том, что « 7 » 02 2024 г. на предприятии ООО «Восходящая звезда» (Калининградская область, Зеленоградский район, п. Котельниково, ул. Птицеводческая, д. 1) была изготовлена партия эмульсионного продукта на основе масла подсолнечного и рыбного жира с целью испытания технологии, предлагаемой ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

Цель испытаний – установление возможности производства эмульсионного продукта (соуса) по типу майонеза на основе подсолнечного масла с добавлением рыбного жира, эмульгирующих и стабилизирующих компонентов.

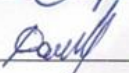
При испытаниях на базе действующего оборудования был получен стабильный эмульсионный продукт (соус) по типу майонеза. Всего было получено 50 кг продукта. На основании дегустационной оценки продукта было сделано заключение о его высоком качестве. Разработанная технология рекомендуется к промышленному внедрению.

Главный технолог ООО «Восходящая звезда»



М.И. Скулова

Аспирант кафедры пищевой биотехнологии



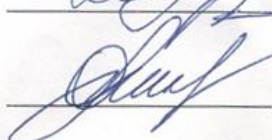
Л.В. Дамбарович

Доцент кафедры пищевой биотехнологии, к.т.н.



С.В. Агафонова

Зав. кафедрой пищевой биотехнологии, д.т.н., проф.



О.Я. Мезенова

Приложение П

Расчет экономической эффективности технологии производства эмульсионного соуса «Омега»

Капитальные затраты. Для производства соуса было подобрано оборудование российских и иностранных производителей. Общая стоимость оборудования с учетом расходов на монтаж (20 % стоимости), транспортировку (13,7 % стоимости), амортизация (3 % стоимости) представлена в таблице П.1.

Таблица П.1 – Оборудование для технологического процесса производства эмульсионного соуса «Омега»

№ п/п	Наименование оборудования	Количество, ед.	Отпускная цена за ед., руб.	Стоимость монтажа 1 ед., руб.	Транспортные расходы на 1 ед., руб.	Амортизация на 1 ед., руб.	Общая стоимость, руб.
1	Гомогенизатор	1	2150000	430000	294550	64500	2939050
2	Бункер для яичного порошка	1	55000	11000	7535	1650	75185
3	Бункер для сухих компонентов	3	50000	10000	6850	1500	205050
4	Емкость для уксуса и воды	2	140000	28000	19180	4200	382760
5	Насосы	5	28150	5630	3856	844	192400
6	Резервуар под масло и жир	2	150000	30000	20550	4500	410100
7	Автомат для расфасовки	1	240000	48000	32880	7200	328080
8	Бак для хранения экстрактов	1	110000	22000	15070	3300	150370
9	Питающий бак гомогениза-	1	180000	36000	24660	5400	246060

	тора						
10	Бак приготовления эмульгирующей смеси	1	100000	20000	13700	3000	136700
	Итого	18					5065760

Таким образом, для выпуска эмульсионного соуса потребуется 18 единиц оборудования, расходы на монтаж составят 741150 руб., амортизация оборудования (A_0) – 111170 руб., общие капитальные затраты (Q) составят 5065760 руб.

Режим работы предприятия и заработная плата работников. Режим работы предприятия представлен в таблице П.2.

Таблица П.2 – Режим работы предприятия по выпуску эмульсионного соуса «Омега»

Количество рабочих дней в году	Количество смен в сутки	Продолжительность смены, ч	Выработка продукта, т:		
			в смену	в сутки	в год
250	1	8	0,5	0,5	125

Для определения среднесписочного числа рабочих необходимо рассчитать плановый годовой фонд рабочего времени одного рабочего (табл. П.3).

Таблица П.3 – Годовой фонд времени одного работника

Количество рабочих дней в году	Продолжительность рабочего дня, ч	Среднее число смен в месяце, дни	Годовой фонд рабочего времени одного работника, ч
250	8	23	2000

Состав и численность персонала и годовой фонд заработной платы приведены в таблице П.4.

Таблица П.4 – Общий состав рабочих и персонала

Должность	Численность в смену, чел.	Выполняемая работа	Тарифная ставка руб./час	Тарифная ставка руб./месяц	Годовой фонд зарботной пла- ты, руб.
Начальник цеха	1	Руководство произ- водственным цехом	400	$176 \cdot 400 =$ 70400	844800
Инженер- технолог	1	Контроль техноло- гического процесса и технологических операций	400	$176 \cdot 400 =$ 70400	844800
Механик цеха	2	Контроль состояния оборудования; Наладка оборудова- ния; Ремонт оборудова- ния	350	$176 \cdot 350 =$ 61600	1478400
Работник лаборатории	1	Анализ качества сырья и готовой продукции; Контроль санитар- ного состояния производства	230	$176 \cdot 230 =$ 40480	485760
Грузчик	2	Выгрузка сырья; Загрузка в тележки- стеллажи; Отгрузка готовой продукции	200	$176 \cdot 200 =$ 35200	844800
Оператор линии	2	Работа с оборудо- ванием; Производство про- дукции и вспомога- тельных ингредиен-	350	$176 \cdot 350 =$ 61600	1478400
Оператор фасовки	2	Работа с оборудо- ванием, фасовка	350	$176 \cdot 350 =$ 61600	1478400
Уборщик помещений	1	Уборка помещений	150	$176 \cdot 350 =$ 61600	739200
Итого:	13				8194560

Таким образом, годовой фонд заработной платы (Z_T) составит 8194560 руб.

Расчет себестоимости товарной продукции. Потребность и стоимость сырья для производства эмульсионного соуса «Омега» представлены в таблице П.5.

Таблица П.5 – Расчет стоимости сырья для производства соуса.

Сырье и материалы	Потребность на 1 т продукта, кг	Стоимость за 1 кг, руб.	Общая стоимость, руб.
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	453,2	81,00	36709,2
Рыбный жир	195,8	250	48950
Яичный порошок	45,7	1000	45700
Пектин	2	1500	3000
Ксантановая камедь	0,06	800	48
Горчичный порошок	7,5	100	750
Натрий двууглекислый	0,3	50	15
Сахар (песок)	15	70	1050
Соль поваренная	10	20	90
Кислота уксусная	5,5	80	440
Вода питьевая	264,4	0,03	7,93
СО ₂ -экстракт гвоздики	0,1	19000	1900
Итого:			138660,13

Таблица П.6 – Расчет стоимости тары и упаковочных материалов

Наименование материала	Единицы измерения	Потребность на 1 т	Цена за ед. руб.	Общая стоимость, руб.
Упаковка дой-пак с дозатором (0,250 г)	шт.	4000	30	120000
Коробка картонная	шт.	200	35	7000

Итого		127000
-------	--	--------

Таким образом, затраты сырья и материалов на производство 1 т продукции (C_c) составят 265660,13 руб.

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7,38 руб. Потребное количество электроэнергии для производства 1 т продукции составляет 1100 кВт·ч. Таким образом, стоимость электроэнергии составит:

$$E = 1100 \cdot 7,38 = 8118 \text{ руб./т.}$$

Стоимость 1 м³ воды на технологические нужды составляет 24,3 руб. Потребное количество воды для производства 1 т продукции составляет 5 м³.

$$W = 5 \cdot 24,3 = 121,5 \text{ руб}$$

Заработная плата на единицу продукции составит:

$$z = \frac{8194560}{125} = 65556,48 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды составят:

$$z_c = 65556,48 \cdot 0,26 = 17044,68 \text{ руб.}$$

Расходы на подготовку и освоение производства (C_{Π} , руб.) включают пусковые расходы:

$$C_{\Pi} = z \cdot 0,1 = 65556,48 \cdot 0,1 = 6555,65 \text{ руб.}$$

Транспортные расходы (C_T , руб.):

$$C_T = z \cdot 0,01 = 65556,48 \cdot 0,01 = 655,56 \text{ руб.}$$

Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования ($C_э$, руб.):

$$C_э = z \cdot 0,05 = 65556,48 \cdot 0,05 = 3277,82 \text{ руб.}$$

Общепроизводственные расходы (освещение и отопление цеха, содержание административного аппарата, цеха и прочее, амортизация):

$$C_{\Pi} = z \cdot 0,2 = 65556,48 \cdot 0,2 = 13111,3 \text{ руб.}$$

Общехозяйственные расходы:

$$C_0 = z \cdot 0,05 = 65556,48 \cdot 0,05 = 3277,82 \text{ руб.}$$

Амортизация на единицу продукции (A_{Π} , руб.):

$$A_{\Pi} = \frac{A_0}{V_{\Gamma}} = \frac{111170}{125} = 889,36 \text{ руб.}$$

Производственная себестоимость 1 т продукции рассчитывается следующим образом:

$$S_{\Pi} = C_{\Sigma} + E + W + z + z_{\Sigma} + C_{\Pi} + C_T + C_{\Sigma} + C_{\Sigma} + C_0 + A_{\Pi}$$

$$S_{\Pi} = 265660,13 + 818 + 121,5 + 65556,48 + 17044,68 + 6555,65 + 655,56 + 3277,82 + 13111,3 + 3277,82 + 889,36 = 376968,3 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы ($C_{ВН}$, руб.):

$$C_{ВН} = S_{\Pi} \cdot 0,05 = 376968,3 \cdot 0,05 = 18848,41$$

Полная себестоимость 1 т продукции:

$$S = S_{\Pi} + C_{ВН} = 376968,3 + 18848,41 = 395816,71$$

Цена проектируемой продукции рассчитывается по формуле:

$$X_{\Pi} = S + S \cdot \Delta P,$$

где ΔP – плановый коэффициент прибыли (10 %):

$$X_{\Pi} = 395816,71 + 39581,67 = 435398,38 \text{ руб.};$$

Таким образом, цена одной упаковки продукции, 0,25 кг, ($X_{\Pi P}$) составит 108,85 руб.

Рассчитаем объем производства в стоимостном выражении:

$$TP = V_{\Gamma} \cdot X_{\Pi P} = 500000 \cdot 108,85 = 54425000 \text{ руб.}$$

Расчет прибыли и рентабельности.

Полная себестоимость готовой продукции составит:

$$S_{TP} = S \cdot V_{\Gamma} = 395816,71 \cdot 125 = 49477088,75 \text{ руб.},$$

Расчет прибыли:

$$P_{TP} = TP - S_{TP} = 54425000 - 49477088,75 = 4947911,25 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль:

$$N_P = 0,06 \cdot P_{TP} = 0,06 \cdot 4947911,25 = 296874,67 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль за год:

$$P_{\text{ч}} = P_{TP} - N_P = 4947911,25 - 296874,67 = 4651036,58 \text{ руб.}$$

Расчет рентабельности:

$$R = \frac{P_{TP}}{S_{TP}} \cdot 100 = \frac{4947911,25}{49477088,75} \cdot 100 = 10 \%$$

Расчет экономического эффекта за срок службы оборудования (F , руб) рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{TP - S_{TP}}{K_R + E_n},$$

где K_R – норма реновации основных фондов при использовании продукции.

$$F = \frac{54425000 - 49477088,75}{1 + 0,1} = 4498101,14 \text{ руб.},$$

Срок окупаемости капитальных вложений (T , год) составит:

$$T = \frac{Q}{P_q} = \frac{5065760}{4651036,58} = 1,1 \text{ год}$$

Таблица П.7 – Экономическая эффективность производства

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение в год
1	Мощность	т	125
2	Производственная себестоимость (1 т продукции):	руб.	376968,3
3	Полная себестоимость (1 т продукции):	руб.	395816,71
4	Прибыль производства	руб.	4651036,58
5	Рентабельность	%	10
6	Срок окупаемости	год	1,1

Показатели эффективности использования основных фондов. Фондоотдача (F_0) характеризует выпуск продукции в денежном выражении на один рубль основных фондов, руб./руб., т.е. показывает насколько эффективно использование последних:

$$F_0 = \frac{P_{\Pi}}{OF}$$

где $P_{\Pi} = TP$ – объем производства (реализации) продукции или услуг, руб.;

$OF = Q$ – среднегодовая стоимость основных фондов.

$$F_0 = \frac{54425000}{5065760} = 10,74 \text{ руб./руб.}$$

Фондоемкость (F_E) – обратный показатель фондоотдачи, показывает, какое количество основных фондов приходится на один рубль продукции (коэффициент закрепления основных средств), руб./руб.:

$$F_E = \frac{OF}{P_{\Pi}} = \frac{5065760}{54425000} = 0,09 \text{ руб./руб.}$$

Фондовооруженность (F_B) характеризует уровень механизации и автоматизации труда, руб./чел.:

$$F_B = \frac{OF}{N_{\text{СП}}} = \frac{5065760}{13} = 389673,85 \text{ руб./чел.,}$$

где $N_{\text{СП}}$ – наибольшая среднесписочная численность рабочих в смену, чел.

Основные расчетные показатели экономической эффективности проекта производства соуса эмульсионного из рыбного жира «Омега» П.8.

Таблица П.8 – Основные технико-экономические показатели проекта

Показатель	Ед. изм.	Значение в год
Годовая производственная мощность	т	125
Производственная программа выпуска продукции, 0,25 кг	шт.	500000
Себестоимость единицы продукции, т:	руб.	49477088,75
Оптовая цена единицы продукции, 0,5 кг:	руб.	108,85
Затраты на 1 рубль товарной продукции	руб.	0,09
Капитальные затраты	руб.	5065760
Численность промышленно-производственного персонала	чел.	13
Фонд оплаты труда	руб.	8194560
Прибыль	руб.	4947911,25
Налог на прибыль	руб.	296874,67
Чистая прибыль	руб.	4651036,58
Рентабельность	%	10
Фондоотдача	руб./руб.	10,74
Срок окупаемости	лет	1,1

Приложение Р

Акт производственных испытаний по выпуску биодизеля

Biotech

ООО «Биотех»

236022, Калининградская обл., г. Калининград,

Советский проспект, 1, ауд. 477

ИНН: 3906253180, КПП: 390601001, ОГРН: 1113926044792

Тел.: +7(952)058-75-52

e-mail: vladimir.volkov@klgtu.ru <https://biohitech.ru/>

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ООО «Биотех»
В.В. Волков
«14» 06 2024 г.



АКТ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА БАЗЕ ООО
«БИОТЕХ», ПО ПРОИЗВОДСТВУ БИОДИЗЕЛЯ ИЗ ЖИРА ВТОРИЧНОГО
РЫБНОГО СЫРЬЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ, ПРЕДЛОЖЕННОЙ ФГБОУ ВО
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Комиссия в составе представителей:

от ООО «Биотех»:

генеральный директор Волков В.В.

от ФГБОУ ВО «КГТУ»:

аспирант кафедры пищевой биотехнологии Дамбарович Л.В.

заведующая кафедрой пищевой биотехнологии, д-р техн. наук Мезенова О.Я.

доцент кафедры пищевой биотехнологии, канд. техн. наук Агафонова С.В.

провела производственные испытания по выпуску биодизеля (этиловых эфиров жирных кислот) из жира вторичного рыбного сырья (голов копченой балтийской кильки) по технологии, предлагаемой ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

Цель испытаний – установление возможности получения биодизеля из жира вторичного рыбного сырья методом переэтерификации в присутствии этилового спирта и кислотного катализатора.

При испытаниях на базе действующего оборудования методом ферментативного гидролиза с последующей инактивацией и разделением фракций был получен рыбный жир из вторичного рыбного сырья (головы копченой балтийской кильки), который затем был направлен для получения биодизеля. Биодизель получен в ходе реакции переэтерификации жирных кислот рыбного сырья в присутствии этилового спирта и серной кислоты. Реакцию проводили при

температуре 78 °С в течение 7 ч. По окончании реакции смесь разделяли для удаления глицерина и направляли биодизель на очистку. Всего было получено 3,0 л биодизеля (этиловых эфиров жирных кислот). Исследование показателей качества показало возможность использования биодизеля по назначению в смеси с дизельным топливом.

Технология рекомендована к промышленному внедрению.

Генеральный директор
ООО «Биотех»



В.В. Волков

Аспирант кафедры пищевой биотехнологии

Л.В. Дамбарович

Заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

О.Я. Мезенова

Доцент кафедры пищевой биотехнологии

С.В. Агафонова

Three handwritten signatures in blue ink, corresponding to the names listed to their right: L.V. Dambarovich, O.Ya. Mezenova, and S.V. Agafonova.

Приложение С

Расчет экономической эффективности технологии производства биодизеля

Капитальные затраты. Для производства соуса было подобрано оборудование российских и иностранных производителей. Общая стоимость оборудования с учетом расходов на монтаж (20 % стоимости), транспортировку (13,7 % стоимости), амортизация (3 % стоимости) представлена в таблице С.1.

Таблица С.1 – Оборудование для технологического процесса производства биодизеля

№ п/п	Наименование Оборудования	Количество, ед.	Отпускная цена за ед., руб.	Стоимость монтажа 1 ед., руб.	Транспортные расходы на 1 ед., руб.	Амортизация на 1 ед., руб.	Общая стоимость, руб.
1	Биодизельная установка EXON-50	1	1490000	298000	204130	44700	2036830
2	Волчок ВРД 200А	1	260000	52000	35620	7800	355420
3	Сепаратор жировой Г9-РТ	1	1350000	270000	184950	40500	1845450
4	Нагреваемая емкость с мешалкой	1	250000	50000	34250	7500	341750
5	Емкость из нержавеющей стали	1	27000	5400	3699	810	36909
6	Центрифуга осадительная ОГШ	1	1200000	240000	164400	36000	1640400
7	Насос центробежный	5	28150	5630	3856,55	844,5	192405,25

	ЦДН						
8	Резервуар под масла	2	50000	10000	6850	1500	136700
9	Емкость для воды	1	30000	6000	4110	900	41010
10	Резервуар для хранения готового биодизеля	3	70000	14000	9590	2100	287070
11	Бак для хранения катализатора	1	70000	14000	9590	2100	95690
12	Кондиционер рефрижераторный	1	90000	18000	12330	2700	123030
	Итого	18					713266 4,3

Таким образом, для выпуска биодизеля потребуется 18 единиц оборудования, расходы на монтаж составят 1043550 руб., амортизация оборудования (A_0) – 156532,5 руб., общие капитальные затраты (Q) составят 713266,3 руб.

Режим работы предприятия и заработная плата работников. Режим работы предприятия представлен в таблице С.2.

Таблица С.2 – Режим работы предприятия по выпуску эмульсионного соуса «Омега»

Количество рабочих дней в году	Количество смен в сутки	Продолжительность смены, ч	Выработка продукта, т:		
			в смену	в сутки	в год
250	1	8	1,2	1,2	300

Для определения среднесписочного числа рабочих необходимо рассчитать плановый годовой фонд рабочего времени одного рабочего (табл. С.3).

Таблица С.3 – Годовой фонд времени одного работника

Количество рабочих дней в году	Продолжительность рабочего дня, ч	Среднее число смен в месяце, дни	Годовой фонд рабочего времени одного работника, ч
250	8	23	2000

Состав и численность персонала и годовой фонд заработной платы приведены в таблице С.4.

Таблица С.4 – Общий состав рабочих и персонала

Должность	Численность в смену, чел.	Выполняемая работа	Тарифная ставка руб./час	Тарифная ставка руб./месяц	Годовой фонд заработной платы, руб.
Начальник цеха	1	Руководство производственным цехом	400	$176 \cdot 400 = 70400$	844800
Инженер-технолог	1	Контроль технологического процесса и технологических операций	400	$176 \cdot 400 = 70400$	844800
Механик цеха	2	Контроль состояния оборудования; Наладка оборудования; Ремонт оборудования	350	$176 \cdot 350 = 61600$	1478400
Работник лаборатории	1	Анализ качества сырья и готовой продукции; Контроль санитарного состояния производства	230	$176 \cdot 230 = 40480$	485760

Грузчик	1	Выгрузка сырья; Загрузка в тележки- стеллажи; Отгрузка готовой продукции	200	$176 \cdot 200 = 35200$	422400
Оператор линии	2	Работа с оборудо- ванием; Производство про- дукции и вспомога- тельных ингредиен-	350	$176 \cdot 350 = 61600$	1478400
Уборщик помещений	1	Уборка помещений	150	$176 \cdot 350 = 61600$	739200
Итого:	9				6293760

Таким образом, годовой фонд заработной платы (Z_T) составит 6293760 руб.

Расчет себестоимости товарной продукции. Потребность и стоимость сырья для производства эмульсионного соуса «Омега» представлены в таблице С.5.

Таблица С.5 – Расчет стоимости сырья для производства соуса

Наименование показателей	Потребность на 1 т, кг	Стоимость за 1 кг, руб.	Общая стоимость, руб.
Вторичное рыбное сырье (головы копченой киль- ки)	5334	1	5334
Этиловый спирт (метанол)	200	20	4000
Серная кислота (95,6%)	5	32	160
Щелочь (NaOH)	0,1	125	12,5
Вода	2000	0,0243	48,6
Ферментный препарат Alcalase	2	2000	4000
Итого:	7541,1	2192,02	13555,1

Таблица С.6 – Расчет стоимости тары и упаковочных материалов

Наименование материала	Единицы измерения	Потребность на 1 т	Цена за ед. руб.	Общая стоимость, руб.
Бочка пластиковая 200 л	шт.	5	800	4000
Этикетка бумажная	шт.	5	2	10
Итого				4010

Таким образом, затраты сырья и материалов на производство 1 т продукции (C_C) составят 17565,1 руб.

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет 7,38 руб. Потребное количество электроэнергии для производства 1 т продукции составляет 500 кВт·ч. Таким образом, стоимость электроэнергии составит:

$$E = 500 \cdot 7,38 = 3690 \text{ руб./т.}$$

Стоимость 1 м³ воды на технологические нужды составляет 24,3 руб. Потребное количество воды для производства 1 т продукции составляет 5 м³.

$$W = 5 \cdot 24,3 = 121,5 \text{ руб}$$

Заработная плата на единицу продукции составит:

$$z = \frac{6293760}{300} = 20979,2 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды составят:

$$z_C = 10979,2 \cdot 0,26 = 5454,59 \text{ руб.}$$

Расходы на подготовку и освоение производства (C_{Π} , руб.) включают пусковые расходы:

$$C_{\Pi} = z \cdot 0,1 = 20979,2 \cdot 0,1 = 2097,92 \text{ руб.}$$

Транспортные расходы (C_T , руб.):

$$C_T = z \cdot 0,01 = 20979,2 \cdot 0,01 = 209,79 \text{ руб.}$$

Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования (C_3 , руб.):

$$C_3 = z \cdot 0,05 = 20979,2 \cdot 0,05 = 1048,96 \text{ руб.}$$

Общепроизводственные расходы (освещение и отопление цеха, содержание административного аппарата, цеха и прочее, амортизация):

$$C_{\text{ц}} = z \cdot 0,2 = 20979,2 \cdot 0,2 = 4195,84 \text{ руб.}$$

Общехозяйственные расходы:

$$C_0 = z \cdot 0,05 = 20979,2 \cdot 0,05 = 1048,96 \text{ руб.}$$

Амортизация на единицу продукции ($A_{\text{п}}$, руб.):

$$A_{\text{п}} = \frac{A_0}{V_{\Gamma}} = \frac{156532,5}{300} = 521,775 \text{ руб.}$$

Производственная себестоимость 1 т продукции рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} S_{\text{п}} &= C_{\text{с}} + E + W + z + z_{\text{с}} + C_{\text{п}} + C_{\text{т}} + C_{\text{э.}} + C_{\text{ц}} + C_0 + A_{\text{п}} \\ S_{\text{п}} &= 17565,1 + 3690 + 121,5 + 20979,2 + 5454,59 + 2097,92 + 209,79 + \\ &1048,96 + 4195,84 + 1048,96 + 889,36 = 57301,22 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Внепроизводственные расходы ($C_{\text{вн}}$, руб.):

$$C_{\text{вн}} = S_{\text{п}} \cdot 0,05 = 57301,22 \cdot 0,05 = 2865,06$$

Полная себестоимость 1 т продукции:

$$S = S_{\text{п}} + C_{\text{вн}} = 57301,22 + 2865,06 = 60166,28$$

Цена проектируемой продукции рассчитывается по формуле:

$$X_{\text{п}} = S + S \cdot \Delta P,$$

где ΔP – плановый коэффициент прибыли (10 %):

$$X_{\text{п}} = 60166,28 + 6016,63 = 66782,9 \text{ руб.};$$

Таким образом, цена единицы продукции, бочка 200 л, ($X_{\text{пр}}$) составит 13356,58

Рассчитаем объем производства в стоимостном выражении:

$$TP = V_{\Gamma} \cdot X_{\text{пр}} = 1200 \cdot 13356,58 = 16027896 \text{ руб.}$$

Расчет прибыли и рентабельности.

Полная себестоимость готовой продукции составит:

$$S_{TP} = S \cdot V_{\Gamma} = 60166,28 \cdot 240 = 14439907,2 \text{ руб.},$$

Расчет прибыли:

$$P_{TP} = TP - S_{TP} = 16027896 - 14439907,2 = 1587988,8 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль:

$$N_p = 0,06 \cdot P_{TP} = 0,06 \cdot 1587988,8 = 95279,33 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль за год:

$$P_{\text{ч}} = P_{TP} - N_p = 1587988,8 - 95279,33 = 1492709,47 \text{ руб.}$$

Расчет рентабельности:

$$R = \frac{P_{TP}}{S_{TP}} \cdot 100 = \frac{1587988,8}{14439907,2} \cdot 100 = 10 \%$$

Расчет экономического эффекта за срок службы оборудования (F , руб) рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{TP - S_{TP}}{K_R + E_n}$$

где K_R – норма реновации основных фондов при использовании продукции.

$$F = \frac{16027896 - 14439907,2}{1 + 0,1} = 1443626,18 \text{ руб.},$$

Срок окупаемости капитальных вложений (T , год) составит:

$$T = \frac{Q}{P_{\text{ч}}} = \frac{7132664,3}{1492709,47} = 4,8 \text{ года}$$

Таблица С.7 – Экономическая эффективность производства

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение в год
1	Мощность	т	300
2	Производственная себестоимость (1 т продукции):	руб.	57301,22
3	Полная себестоимость (1 т продукции):	руб.	60166,28
4	Прибыль производства	руб.	1492709,47
5	Рентабельность	%	10
6	Срок окупаемости	год	4,8

Показатели эффективности использования основных фондов. Фондоотдача (F_0) характеризует выпуск продукции в денежном выражении на один рубль основных фондов, руб./руб., т.е. показывает насколько эффективно использование последних:

$$F_0 = \frac{P_{\Pi}}{OF}$$

где $P_{\Pi} = TP$ – объем производства (реализации) продукции или услуг, руб.;

$OF = Q$ – среднегодовая стоимость основных фондов.

$$F_0 = \frac{16027896}{7132664,3} = 2,25 \text{ руб./руб.}$$

Фондоемкость (F_E) – обратный показатель фондоотдачи, показывает, какое количество основных фондов приходится на один рубль продукции (коэффициент закрепления основных средств), руб./руб.:

$$F_E = \frac{OF}{P_{\Pi}} = \frac{7132664,3}{16027896} = 0,44 \text{ руб./руб.}$$

Фондовооруженность (F_B) характеризует уровень механизации и автоматизации труда, руб./чел.:

$$F_B = \frac{OF}{N_{\text{СП}}} = \frac{7132664,3}{9} = 792518,25 \text{ руб./чел.,}$$

где $N_{\text{СП}}$ – наибольшая среднесписочная численность рабочих в смену, чел.

Основные расчетные показатели экономической эффективности проекта производства соуса эмульсионного из рыбного жира «Омега» Б.8.

Таблица С.8 – Основные технико-экономические показатели проекта

Показатель	Ед. изм.	Значение в год
Годовая производственная мощность	т	300
Производственная программа выпуска продукции, 0,25 кг	шт.	1500
Себестоимость единицы продукции, т	руб.	60166,28

Оптовая цена единицы продукции, 200 л	руб.	13356,58
Затраты на 1 рубль товарной продукции	руб.	0,44
Капитальные затраты	руб.	7132664,3
Численность промышленно-производственного персонала	чел.	9
Фонд оплаты труда	руб.	6293760
Прибыль	руб.	1587988,8
Налог на прибыль	руб.	95279,33
Чистая прибыль	руб.	1492709,47
Рентабельность	%	10
Фондоотдача	руб./руб.	2,25
Срок окупаемости	лет	4,7