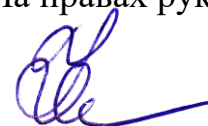


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

На правах рукописи



Феофилактова Ольга Владимировна

**НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ФОРТИФИКАЦИИ БИОАКТИВНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Заворохина Наталия Валерьевна

Екатеринбург – 2024

Оглавление

Введение.....	6
1 Научные аспекты практического применения фортификации эмульсионных пищевых систем	15
1.1 Анализ предпосылок для фортификации пищевых систем.....	15
1.2 Современные технологические подходы к фортификации пищевых систем.....	24
1.3 Научно-практическое обоснование фортификации пищевых систем с помощью БАВ, инкапсулированных в эмульсии	41
1.4 Обоснование выбора эмульсионных пищевых систем в качестве объекта исследований	49
Выводы по главе 1	52
2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования.....	54
2.1 Организация проведения исследований	54
2.2 Характеристика объектов и методов исследования	57
3 Методология разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем.....	67
3.1 Понятие эмульсионных пищевых систем	68
3.2 Проблемно-целевая модель фортификации эмульсионных пищевых систем.....	70
3.3 Содержание и технология реализации методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем	74
Выводы по главе 3	82
4 Экспериментально-аналитическое обоснование разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем	84
4.1 Разработка биоактивных дисперсных комплексов.....	84
4.1.1 Формирование масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ.....	84
4.1.2 Формирование биоактивной водной фазы (среды).....	89

4.2	Формирование биоактивного эмульсионного фортфиката	91
4.3	Технология биоактивных эмульсионных пищевых систем	113
4.4	Качественная характеристика БЭПС	118
	Выводы по главе 4	123
5	Проектирование БЭПС на основе анализа качественных параметров	126
5.1	Формирование органолептического профиля БЭПС	126
5.2	Исследование устойчивости к окислению БЭПС	131
5.3	Исследование микробиологических показателей биоактивных эмульсионных пищевых систем	133
5.4	Установление сроков годности биоактивных эмульсионных пищевых систем с использованием метода ASLT	136
5.5	Проектирование биоактивных эмульсионных пищевых систем на основе регрессионного анализа	140
	Выводы по главе 5	143
6	Определение сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС	146
6.1	Исследование сохраняемости витаминов в БЭПС	146
6.2	Оценка биодоступности БАВ в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем	155
	Выводы по главе 6	161
7	Практическое применение БЭПС: разработка рецептур и технологий пищевых продуктов на основе БЭПС	162
7.1	Разработка и оценка качества эмульсионного биосоуса	162
7.1.1	Разработка рецептуры и технологии эмульсионного биосоуса	162
7.1.2	Оценка качества эмульсионного биосоуса	165
7.1.3	Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности эмульсионного биосоуса	168
7.2	Разработка и оценка качества эмульсионного соуса, обогащенного омега- 3 жирными кислотами	174
7.2.1	Разработка рецептуры и технологии эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами	174

7.2.2 Оценка качества эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами.....	177
7.2.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами	182
7.3 Разработка и оценка качества крема на растительных маслах	188
7.3.1 Разработка рецептуры и технологии крема на растительных маслах	188
7.3.2 Оценка качества крема на растительных маслах	191
7.3.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности крема на растительных маслах	193
7.4 Разработка и оценка качества сывороточного коктейля.....	198
7.4.1 Разработка рецептуры и технологии сывороточного коктейля	198
7.4.2 Оценка качества сывороточного коктейля.....	201
7.4.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности сывороточного коктейля	204
7.5 Разработка и оценка качества напитков на растительной основе	209
7.5.1 Разработка рецептуры и технологии напитков на растительной основе.....	209
7.5.2 Оценка качества напитков на растительной основе	213
7.5.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности напитков на растительной основе	218
Выводы по главе 7	222
Заключение	224
Список сокращений и условных обозначений.....	227
Словарь терминов.....	228
Список литературы	230
Приложение А Отчет о научно-исследовательской работе.....	278
Приложение Б Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ	279
Приложение В Хроматограммы исследования жирнокислотного состава	280

Приложение Г	Протокол результатов испытаний БЭПС по микробиологическим показателям	282
Приложение Д	Перечень исследуемых факторов, матрица планирования и результаты эксперимента	285
Приложение Е	Отчет по определению биодоступности витаминов группы В	292
Приложение Ж	Балльная шкала оценки качества эмульсионных соусов	295
Приложение И	Документы, отражающие результаты апробации, производственных испытаний и внедрения результатов исследований.....	296

Введение

Актуальность темы исследования. Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания направлена в первую очередь на обеспечение устойчивого роста численности населения и повышение продолжительности жизни. Ряд основополагающих документов в области питания (Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20, Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции Российской Федерации до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р, Федеральный закон от 01.03.2020 № 47-ФЗ, предусматривающий внесение изменений в Федеральный закон «О качестве и безопасности пищевых продуктов») определяет принципы здорового питания, способствующие укреплению здоровья человека и будущих поколений, снижению риска развития заболеваний, в том числе соответствие химического состава ежедневного рациона физиологическим потребностям человека в макро- и микро-нутриентах.

Поддержание здоровья населения страны и снижение риска развития заболеваний разной этиологии представляет собой важную государственную задачу и требует качественно новых подходов к ее решению, одним из которых является разработка технологий фортификации пищевых продуктов с высокой сохраняемостью и биодоступностью БАВ. В связи с этим необходимо обеспечить защиту БАВ в составе матрицы пищевых продуктов от преждевременной деградации. Стабильность биоактивных свойств и контролируемое высвобождение для адресной доставки в комплексе будут способствовать повышению эффективности их действия.

Разработка инструментария и технических решений, ориентированных на сохранение и повышение биодоступности БАВ направленного действия в составе пищевых систем, в том числе эмульсионных пищевых продуктов (ЭПП), является императивом настоящего времени.

Сегмент ЭПП представлен на потребительском рынке широким ассортиментом продукции, которая употребляется всеми группами населения, что обуславливает их перспективность в качестве объектов для фортификации биоактивными комплексами при возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств, вариативности использования в качестве носителя полезности.

Учитывая, что актуальной задачей пищевой комбинаторики является совершенствование технологий пищевых систем, характеризующихся новыми или улучшенными функциональными свойствами, разработка технологических решений нового формата с целью обеспечения сохраняемости и биодоступности БАВ станет востребованным ресурсом для практиков.

Актуальность данной научной проблемы, ее практическая значимость определили выбор темы диссертационной работы, ее объекты, предмет, цель и задачи.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в решение задач по совершенствованию структуры питания, разработке обогащенных продуктов питания, в том числе с заданными потребительскими свойствами, оценке их качества и эффективности внесли отечественные и зарубежные ученые М. Н. Шатерников, В. А. Тутельян, Н. Б. Никитюк, А. А. Покровский, А. М. Уголев, М. Н. Волгарев, Б. А. Шендеров, Г. К. Шлыгин, В. М. Позняковский, А. А. Кочеткова, И. А. Евдокимов, Л. А. Маюрникова, И. Ю. Потороко, О. В. Чугунова, М. Н. Школьникова, В. Г. Попов, M. Jасquot, M. Mannar, H. Mehansho, R. Hurrell, C. Anandharamakrishnan и др.

В работах А. П. Нечаева, О. В. Пилипенко, Л. В. Терещук, Е. А. Бутиной, Г. А. Паньковского, О. С. Восканян, Е. И. Черевач, D. McClements, J. Rao, P. Karthik, A. Santamaria-Echart отражены результаты исследований, направленные на получение эмульсионных пищевых систем и купажирование растительных масел.

В исследованиях О. Н. Красули, И. Ю. Потороко, И. В. Калининой, В. А. Исаева, J. Chandrapala, J. Carpenter, A. Patista, M. Kilic-Akyilmaz, J. Weiss и др. отражены вопросы применения ультразвуковой кавитации в технологии пищевых систем и микрокапсулирования БАВ.

Современные научные представления об эмульсионных технологиях в производстве пищевых систем, фортифицированных БАВ, инкапсулированными в двойные эмульсии, в открытой печати представлены недостаточно, применение ультразвукового воздействия для инкапсулирования БАВ довольно ограничено и является областью, требующей дальнейшего развития.

При анализе результатов и выводов указанных выше и других ученых не выявлены способы практической реализации технологических решений инкапсулирования БАВ по технологии двойных эмульсий. Практически отсутствуют исследования по применению эмульсии типа масло/вода/масло с инкапсулированными БАВ в технологии эмульсионных пищевых систем. Вместе с тем их применение позволит не только значительно расширить ассортимент эмульсионных пищевых систем, но и сформировать новый сегмент эмульсионной пищевой продукции для профилактики заболеваний разной этиологии.

Таким образом, результаты анализа имеющегося практического опыта разработки пищевых систем приводят к необходимости поиска технологических решений для расширения ассортимента биоактивных эмульсионных пищевых систем с высокими сохраняемостью и биодоступностью БАВ как перспективного направления развития прикладной науки. Диссертационное исследование направлено на решение задачи, находящейся в рамках перечня важнейших наукоемких технологий – технологий персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения.

Цель диссертационного исследования заключается в обосновании и разработке комплекса технологических решений получения фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов на основе научных и методологических представлений о способах повышения биодоступности и сохраняемости БАВ.

Для реализации указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1) установить теоретические и практические предпосылки необходимости разработки фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов;

2) предложить методологию разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем (БЭПС) на основе систематизации научных данных о современных способах фортификации и инкапсулирования БАВ;

3) сформулировать понятийный аппарат в области эмульсионных пищевых систем и разработать их классификацию;

4) предложить техническое решение по автоматизации процесса формирования биоактивной масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ липидной природы;

5) разработать технологию фортификации эмульсионных пищевых систем с высокой сохраняемостью и биодоступностью БАВ;

6) установить перечень и механизмы влияния воздействующих факторов, в том числе технологических параметров ультразвукового диспергирования, на формирование стабильных БЭПС; построить регрессионные математические модели, позволяющие прогнозировать качественные характеристики и устойчивость в хранении фортифицированных БЭПС;

7) изучить влияние инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий на сенсорный профиль, их сохраняемость и биодоступность;

8) разработать рецептуры, провести исследование биоактивных свойств и оценку качества фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов;

9) установить регламентируемые показатели качества, разработать нормативно-техническую документацию на новые виды ЭПП, провести апробацию и внедрение в условиях реального производства.

Научная концепция основана на гипотезе применения БАВ, инкапсулированных по технологии двойных эмульсий с применением ультразвукового диспергирования, с высокой биодоступностью и сохраняемостью, для фортификации в эмульсионные пищевые продукты с целью поддержания здоровья потребителей.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 2, 7, 11, 13, и 29 Паспорта научной специальности 4.3.3.

1. Предложена методология разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем, основанная на фортификации биоактивных эмульсионных комплексов

по технологии двойных эмульсий в матрицу эмульсионного пищевого продукта (п. 13 Паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Впервые сформулировано понятие «биоактивные эмульсионные пищевые системы» (п. 2 Паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Научно обоснованы и экспериментально подтверждены технологические параметры ультразвукового диспергирования, применение эмульгаторов для получения стабильных биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Предложены регрессионные математические модели для прогнозирования качественных характеристик и срока годности биоактивных эмульсионных пищевых систем, в основу которых положен полный факторный эксперимент, учитывающий значимые факторы влияния на комплексную оценку качества БЭПС (технические параметры ультразвукового диспергирования, вид и количество вносимого эмульгатора, соотношение масляной и водной фазы) и их сохраняемость (температура, перекисное число, микробиологические показатели) (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

5. Получены новые данные о повышении сохраняемости инкапсулированных БАВ в матрице биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 13 Паспорта научной специальности 4.3.3).

6. Доказано, что применение технологии инкапсулирования БАВ, имеющих специфический флейвор, в матрицу биоактивных эмульсионных пищевых систем позволяет улучшить потребительские характеристики (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

7. В доклинических исследованиях *in vivo* экспериментально подтверждено повышение биодоступности инкапсулированных БАВ в матрице биоактивных эмульсионных пищевых систем (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

8. Научно обоснованы технологические решения производства ассортимента эмульсионных пищевых продуктов, фортифицированных БАВ (витамины, пробиотики, ПНЖК группы ω -3) (п. 7, 11, 29 Паспорта научной специальности 4.3.3).

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составили известные принципы фортификации пищевых систем и опубликованные экспериментальные результаты по разработке пищевых систем с заданными потребительскими свойствами. В диссертации использованы базовые научные методы (анализ, синтез, сравнение, обобщение, индукция, дедукция, аналогия), а также общепринятые, стандартные и специальные методы, методы статистической обработки полученных данных.

Положения, выносимые на защиту:

– методология разработки БЭПС, основанная на фортификации эмульсионных пищевых систем БАВ, инкапсулированными в матрицу по технологии двойных эмульсий;

– механизмы влияния воздействующих факторов, в том числе технологических параметров ультразвукового диспергирования, на формирование стабильных БЭПС и технологические решения их получения;

– результаты исследования стабильности и биодоступности БАВ, инкапсулированных в матрицу БЭПС, в том числе с применением метода *in vivo*;

– совокупность результатов экспериментальных данных, подтверждающих эффективность инкапсулирования БАВ во внутреннюю фазу матрицы БЭПС для коррекции их специфического флейвора,

– результаты практических решений по разработке рецептур и технологий фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов на основе БЭПС: эмульсионных соусов, коктейлей, крема на растительных маслах, напитков на растительной основе.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость. Разработаны методологические основы и комплекс технологических решений получения эмульсионных пищевых продуктов, фортифицированных биоактивными дисперсионными комплексами для профилактики заболеваний разной этиологии.

Практическая значимость. Научно обоснована возможность фортификации эмульсионных пищевых продуктов биоактивными комплексами с применением

инкапсулирования БАВ по технологии двойных эмульсий для повышения их сохраняемости, биодоступности и коррекции специфического флейвора.

Работа проводилась в рамках научных исследований по договору Т-40/2021 на тему «Разработка инновационных подходов управления качеством пищевой продукции» (приложение А).

Разработана и апробирована компьютерная программа проектирования оптимального соотношения полиненасыщенных жирных кислот масляной основы (свидетельство о регистрации № 2021661916 от 19.07.2021, приложение Б).

Определены технологические параметры ультразвукового диспергирования для получения стабильных двойных эмульсионных пищевых систем (рабочая частота 20 кГц, амплитуда 40–70 %, мощность 550–750 Вт, время 2–10 мин).

Разработаны рецептуры и технологии пяти видов пищевых продуктов, базирующиеся на способе инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий.

Разработана и утверждена техническая документация на пищевые продукты на основе БЭПС (ТУ 10.84.12-001-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-001-02069214-2024 «Эмульсионный биосоус»; ТУ 10.84.12-002-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-002-02069214-2024 «Эмульсионный соус, обогащенный омега-3 жирными кислотами»; ТУ 10.84.12-003-02069214-2024 и ТИ 10.84.12-003-02069214-2024 «Крем на растительных маслах»; ТУ 10.51.55-004-02069214-2024 и ТИ 10.51.55-004-02069214-2024 «Сывороточный коктейль с витаминами»; ТУ 10.86.10-005-02069214-2024 и ТИ 10.86.10-005-02069214-2024 «Напиток на растительной основе».

Полученные технические решения апробированы на предприятиях ООО «Ман Восток», ООО «Центр контроля качества», ООО «ПРО-питание», что подтверждено соответствующими документами.

Новизна технических решений подтверждена патентом РФ № 2416342 «Способ получения биосоуса».

Результаты теоретических и практических исследований используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению подготовки 19.04.04

«Технология продукции и организация общественного питания», реализуемого в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность подтверждается использованием современных методов исследования, проведением ряда исследований в аккредитованных лабораториях на сертифицированном оборудовании с установленными метрологическими характеристиками в многократной повторности, использованием соответствующих методов математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных.

Основные положения работы обсуждены на конференциях различного уровня: III Международной научно-практической конференции «Потребительский рынок Евразии: современное состояние, теория и практика в условиях Евразийского экономического союза и ВТО» (Екатеринбург, 2015); III Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли» (Екатеринбург, 2015); Международной научно-практической конференции «Достижения и проблемы современных тенденций переработки сельскохозяйственного сырья: технологии, оборудование, экономика» (Краснодар, 2016); XIII Международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество» (Красноярск, 2016); 2nd International Scientific Conference on New Industrialization: Global, National, Regional Dimension (Екатеринбург, 2018); VI, X и XI Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании» (Екатеринбург, 2019, 2023, 2024); XVII Международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество» (Новосибирск, 2020); IV Международной научно-практической конференции «Инновации в индустрии питания и сервисе» (Краснодар, 2020); V Международной конференции «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов» (Екатеринбург, 2021); IV Уральском экономическом форуме «Урал – драйвер неоиндустриального и инновационного развития России» (Екатеринбург, 2022); Международной конференции «Пищевые здоровьесберегающие технологии» в рамках I и III Международного симпозиума «Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения

и здоровьесберегающих технологий» (Кемерово, 2022, 2024); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса» (Красноярск, 2023); Международной конференции «Пищевые здоровьесберегающие технологии» в рамках II Международного симпозиума, посвященного 50-летию КемГУ (Кемерово, 2023); I Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие окружающей среды и сельского хозяйства: зеленые и экологические технологии» (Екатеринбург, 2024).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 40 научных работ, в том числе 18 статей в журналах, рекомендуемых ВАК (К1, К2), из них 6 статей в журналах, входящих в базу данных RSCI, 1 монография, 5 статей в изданиях, индексируемых в международных базах и системах цитирования Scopus и Web of Science, 1 патент РФ на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание изложено на 277 страницах, включает 62 таблицы, 86 рисунков и 388 литературных источников, из них 243 на иностранных языках.

1 Научные аспекты практического применения фортификации эмульсионных пищевых систем

1.1 Анализ предпосылок для фортификации пищевых систем

Полноценное питание является главным фактором, обеспечивающим состояние здоровья человека. В рамках Десятилетия действий ООН по проблемам питания (2016–2025 гг.) в задачи Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) входит борьба со всеми формами неполноценного питания. Оказывая поддержку странам в ускорении реализации эффективной политики и мероприятий на всех уровнях агропродовольственных систем, ФАО стремится обеспечить доступное здоровое питание для всего населения [86; 87].

Проблемы питания, обусловленные неправильным рационом, могут иметь различный характер от хронического голода до нехватки отдельных нутриентов.

В настоящее время во всем мире растет число неинфекционных заболеваний (НИЗ), связанных с проблемами недостаточности питания и недостатка нутриентов, которые являются основной причиной заболеваемости и смертности среди населения [53].

Для нормальной жизнедеятельности организму человека необходимо ежедневное поступление различных макро- и микронутриентов. Дефицит даже одного из них способен оказать существенное влияние на выполнение большого количества критически важных функций, связанных с обеспечением процессов жизнедеятельности.

К объективным причинам алиментарных нарушений, обусловленных недостаточным поступлением в организм макро- и микронутриентов, можно отнести:

- снижение уровня содержания эссенциальных нутриентов в сырье, используемом для производства пищевых продуктов;

- современные способы обработки сырья и пищевых продуктов;
- нарушение усвоения питательных веществ вследствие расстройств переваривания, всасывания или транспорта (синдром мальабсорбции);
- нарушение режима питания, несбалансированные рационы питания и др.

Результаты ряда исследований, проведенных в различных странах, указывают на значительное систематическое сокращение уровня эссенциальных нутриентов (ЭН), содержащихся в пищевых продуктах (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение содержания эссенциальных нутриентов в пищевых продуктах с течением времени

Страна	Период	Микронутриенты, по которым наблюдается значительное снижение	Объект	Авторы исследования
Великобритания	1930–1980-е годы	В овощах: кальций, магний, медь, натрий. В плодах: магний, железо, медь, калий	20 видов овощей и 20 видов плодов	A. V. Mayer [290]
Австралия	С 1981–1985 по 2000–2001 гг.	Железо, цинк	40 видов плодов и овощей	J. H. Cunningham, G. Milligan, L. Trevisan [188]
США	1950–1999 гг.	Средние изменения: – кальций – 16 %; – фосфор – 9 %; – железо – 15 %	39 видов овощей и 4 вида плодов	D. R. Davis, M. D. Epp, H. D. Riordan [193]
Финляндия	1980-е годы по сравнению с 2000-ми	Калий, марганец, цинк, медь, никель	17 видов овощей, 7 видов плодов, 4 вида зерна	P. Ekholm и др. [207]
Великобритания	С 1929–1944 по 2002 г.	В овощах: магний, медь, натрий. В плодах: калий, железо, медь	26 видов овощей и 27–38 видов плодов	P. J. White, M. R. Broadley [371]
США	1941, 2004 гг.	В плодах и овощах: кальций, железо, медь	16–50 пищевых продуктов	
США	1950–2009 гг.	Средние значения: – кальций – 12 %; – фосфор – 10 %; – железо – 43 %	41 вид плодов	D. R. Davis [195]

Продолжение таблицы 1

Страна	Период	Микронутриенты, по которым наблюдается значительное снижение	Объект	Авторы исследования
США	1985–2002 гг.	Средние значения: – кальций – 46,8 %; – магний – 46,3 %; – фолиевая кислота – 54,7 %; – пиридоксин – 86 %; – аскорбиновая кислота – 70,7 %	4 вида овощей и 3 вида плодов	D. R. Davis, M. D. Epp, H. D. Riordan [193]; A. B. Mayer [290]; J. W. Erisman [211]; E. Heinrich [242]
Великобритания	1940–2019 гг.	Средние значения: – натрий – 52 %; – железо – 50 %; – медь – 49 %; – магний – 10 %	Плоды и овощи	A. B. Mayer, L. Trenchard, F. Rayns [291]

Результаты данных исследований показывают, что за достаточно продолжительный период времени произошло значительное снижение содержания ряда эссенциальных нутриентов (ЭН).

В период с 1940 по 1991 г. произошло значительное снижение количества натрия, кальция, марганца и меди. Наибольшее снижение отмечено по меди (60 %) и натрию (32 %), при этом наблюдалось увеличение содержания воды. Это свидетельствует о том, что к 1991 г. плоды и овощи содержали больше воды, а количество питательных веществ соответственно снизилось.

В период с 1991 по 2019 г. произошло значительное снижение уровня железа (36 %). Кроме того, наблюдалось дальнейшее снижение содержания натрия и увеличение количества воды.

Сравнительный анализ данных указывает, что содержание минеральных веществ в плодах и овощах в 2019 г. было ниже, чем в 1940 г. Наибольшее общее снижение за этот период наблюдалось по натрию (52 %), железу (50 %), меди (49 %) и магнию (10 %). Также снизилось содержание сухих веществ на 12 % [291].

Для людей с несбалансированным рационом, которые наиболее чувствительны к дефицитам, эти сокращения весьма значимы, так как создают риск возникновения дефицитов и, как следствие, алиментарных заболеваний.

К возможным факторам, влияющим на снижение содержания нутриентов в пищевых продуктах, можно отнести следующие (рисунок 1).

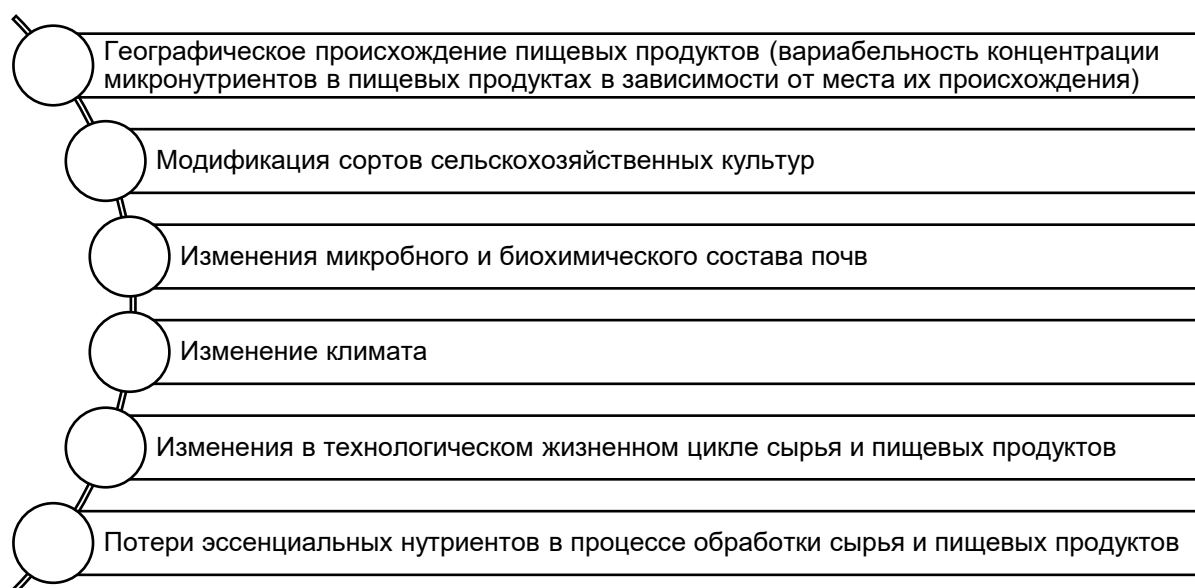


Рисунок 1 – Причины сокращения уровня эссенциальных нутриентов, содержащихся в пищевых продуктах

1. Географическое происхождение пищевых продуктов. В настоящее время большинство пищевых продуктов импортируется. Известна значительная вариабельность концентрации микронутриентов в пищевых продуктах в зависимости от места их происхождения [46]. Степень влияния данного фактора на химический состав будет зависеть от ряда других факторов, которые будут рассмотрены далее.

2. Модификация сортов сельскохозяйственных культур. Сорты сельскохозяйственных культур, выращиваемые современными производителями, существенно отличаются от тех, которые выращивались в начале XX в. Большинство сортов выведено с целью повышения их урожайности и, следовательно, рентабельности, но при этом не учитываются изменения пищевой ценности готовой продукции [95; 98; 102; 172; 214; 216; 225; 298]. По мере увеличения урожайности происходит рост общего количества сухих веществ и углеводов, составляющих более 80 % от их количества, а количество витаминов и минералов не увеличивается. Относительные пропорции при этом изменяются и наблюдается «эффект разбавления» [194].

3. Изменение микробного и биохимического состава почв. В основе принципов органического земледелия и соответствующих агроэкологических подходов, имеющих целью оптимизацию производства сельскохозяйственных культур, лежит использование органических веществ для улучшения химических, биологических и физических свойств почвы [43; 240; 336; 369].

Рядом исследований подтверждено более высокое содержание минеральных веществ в органических продуктах по сравнению с продуктами, выращенными традиционным способом [160; 162; 247; 264; 279; 314; 322].

В процессе роста растения поглощают минералы из почвы, находясь в симбиозе с почвенными микроорганизмами. Применение искусственных удобрений и фунгицидов, а также обработка почвы и снижение агробиоразнообразия препятствуют такому симбиозу. Исследования, проведенные рядом авторов, подтверждают факт снижения содержания минералов в продуктах питания в связи с индустриализацией сельского хозяйства [159; 210; 234; 241; 358].

4. Изменение климата. Экспериментально подтверждено, что повышенные концентрации углекислого газа в воздухе приводят к снижению концентрации минеральных веществ в плодах и овощах [201; 276; 300].

5. Изменения в технологическом жизненном цикле сырья и пищевых продуктов.

6. Изменения в технологическом жизненном цикле сырья и пищевых продуктов. С момента выхода первых изданий справочников химического состава пищевых продуктов (R. McCance и E. Widdowson в 1940 г. [292], А. А. Покровский в 1976 г. [134]) произошли значительные изменения в технологическом жизненном цикле пищевых продуктов: усовершенствованы транспортная инфраструктура, технологии сбора урожая и хранения готовой продукции. С одной стороны, данные изменения увеличивают сохраняемость вследствие снижения степени воздействия негативных факторов окружающей среды (температура, свет, относительная влажность воздуха), а с другой – способствуют снижению количества микронутриентов за счет введения дополнительных технологических операций (например, обрезка и чистка приводит к удалению частей растения, богатых минеральными веществами) [168; 280].

В зависимости от вида продукта и производственных задач применяются различные способы обработки пищевых продуктов. Достаточно часто в процессе обработки используются высокие температуры, ультрафильтрация, гидрогенизация и другие технологические операции, оказывающие влияние на пищевую ценность готового продукта.

Термическая обработка, с одной стороны, способствует улучшению пищеварения и повышению безопасности продуктов, с другой стороны, при несоблюдении режимов может приводить к потере ЭН. Например, при термической обработке потери витамина С могут достигать от 30 % до 80 %, потери витамина РР – около 20 %, витамина В₁ – от 25 % до 30 %, витамина В₂ – от 15 % до 30 %, витамина А – до 40 %. Достаточно чувствительны к термообработке фолиевая кислота и другие витамины [46].

Использование таких способов обработки сырья, как удаление нежелательных частей и компонентов, также может приводить к тому, что многие ЭН (витамины, минералы и антиоксиданты) будут утрачены полностью или их содержание существенно снизится.

В технологиях, применяемых на сегодняшний день в пищевой промышленности для пастеризации и стерилизации пищевых продуктов, используются низкотемпературные системы, а также более короткий технологический цикл, что позволяет расширить возможности процесса производства. Однако данные технологии требуют четкого соблюдения оптимальных режимов для предотвращения потерь ЭН. Так, в процессе нетермической стерилизации – при облучении продукта с помощью гамма-лучей кобальта (⁶⁰Co) или цезия (¹³⁷Cs) – превышение значения энергии излучения в 4 кГр может привести к потере витаминов А, В₁, С и Е [257].

В качестве одной из многообещающих нетермических технологий, используемых в пищевой промышленности для обработки пищевых продуктов с целью prolongации срока их годности без ущерба для качества и органолептических характеристик, можно выделить ультразвуковую технологию [249].

Различные способы кулинарной обработки, такие как бланширование, варка, приготовление в микроволновой печи, приготовление на пару и др., в разной сте-

пени влияют на сохраняемость ЭН. Снижение их содержания во время этих процессов можно объяснить термической деградацией и выщелачиванием. Выщелачивание зависит от полярности микронутриентов и среды [226].

В исследовании, проведенном S. Lee с соавторами, выявлены зависимости между способом обработки и вида овощей и содержанием β -каротина, аскорбиновой кислоты, витаминов E и K [266]. Результаты исследований L. C. R. Dos Reis с соавторами [205] и G. Toydemir с соавторами [356] показана степень сохранения антиоксидантной активности овощей в зависимости от используемого способа термической обработки. Е. В. Милеенкова с соавторами выявили особенности влияния низкотемпературной тепловой обработки на изменение содержания витаминов и минеральных веществ в мясных продуктах в сравнении с традиционной тепловой обработкой [70].

Недостаточность ЭН может иметь не только экзогенный характер, обусловленный их дефицитом в пище, но и эндогенный, связанный с нарушением их всасывания, транспорта или метаболизма в организме. Многочисленные нарушения функционирования различных органов и систем организма могут изменить физиологические механизмы, обеспечивающие правильное пищеварение и всасывание ЭН, что приводит к возникновению различных заболеваний [297].

Всасывание является заключительным этапом пищеварения. Синдром мальабсорбции означает неспособность тонкого кишечника усваивать определенные питательные вещества и жидкости.

Существует несколько распространенных сопутствующих расстройств, которые могут проявляться скрытыми и (или) явными симптомами мальабсорбции. Нарушения всасывания ЭН могут быть врожденными и приобретенными. Врожденные нарушения встречаются очень редко и проявляются уже в раннем детском возрасте тяжелой патологией обмена веществ, селективно связанной с отсутствием в организме соответствующего ЭН [82].

Приобретенная мальабсорбция свойственна заболеваниям тонкой кишки. Она может возникнуть в результате иммунного ответа, воспалительного процесса или поражения тонкой кишки хирургическими методами [183].

Больным с синдромом мальабсорбции особенно необходимо контролировать уровень соответствующих ЭН в их организме. Для их доставки в данном случае необходимы специальные системы, обеспечивающие прохождение ЭН через кислую среду желудка в неизменном виде и всасывание непосредственно в кишечнике, а также отсутствие побочных эффектов при контакте со слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки [80].

Академик А. А. Покровский отмечал, что рацион питания представляет собой сложный химический комплекс, содержащий множество компонентов, выполняющих различные физиологические функции в организме человека [89].

Существующие традиционные подходы к оценке качества питания, основанные на калорийности пищевого рациона, не учитывают степень обеспеченности рациона питания ЭН.

Дефициты ЭН (витаминов, макро- и микроэлементов, полиненасыщенных жирных кислот, пре- и пробиотиков и др.) в рационах приводят к нарушениям в функционировании различных органов и систем организма, обмена веществ, к формированию алиментарно-зависимых НИЗ, осложняют имеющиеся заболевания и затрудняют их лечение [61; 101].

По результатам ежегодного социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации проводится анализ структуры питания и пищевого статуса различных групп населения, который свидетельствует о том, что факторы риска НИЗ, характеризующиеся нерациональным соотношением основных пищевых веществ в рационах, дефицитом микронутриентов и др., остаются актуальными. Так, 22 % взрослого и 40 % детского населения имеют полигиповитаминозные состояния (недостаток трех витаминов и более); обеспечены всеми витаминами только 14 % взрослого и 17 % детского населения (старше 4 лет) [90].

Рассинхронизированность биологических часов человека и ритма жизни (нарушение сна и режима питания), возникающая в основном в результате интенсивной работы (так называемый социальный джетлаг), усугубляет дефицит ЭН и повышает риски возникновения хронических заболеваний. Люди, находящиеся в группах риска, предрасположенные к социальному джетлагу, нуждаются в целе-

вой саплементации такими ЭН, как магний, фолаты, полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω -3 и пробиотики [140].

Несбалансированное питание связано с рядом хронических заболеваний и потенциально может быть основным фактором смертности от НИЗ во всем мире. Это подчеркивает острую необходимость скоординированных глобальных усилий по улучшению качества питания. Учитывая широкий спектр влияющих факторов, улучшение рациона питания требует активного сотрудничества различных участников всей продовольственной системы. Это позволит одновременно решить задачи в области здравоохранения и питания и будет способствовать повышению устойчивости производства [150].

Как было отмечено, для поддержания здоровья требуется повышенная обеспеченность организма ЭН [114]. Однако за счет традиционных и даже максимально разнообразных пищевых рационов удовлетворить потребность организма в ЭН невозможно. Это обусловлено, с одной стороны, более низкими потребностями современного человека в объеме пищевых продуктов в связи со сниженными энерготратами при сохраняющейся потребности в ЭН. Даже идеально составленный пищевой рацион для взрослого человека будет минимум на 20 % дефицитен по большинству микронутриентов [46]. Поэтому объемы пищевых продуктов, способные восполнить потребность в ЭН, будут достаточно велики, что может в конечном счете привести к ожирению. С другой стороны, наблюдается все большее снижение концентрации ЭН в составе пищевых продуктов.

Проблема дефицитов ЭН свидетельствует о необходимости оптимизации пищевой ценности продуктов питания, решить которую можно путем их обогащения. Основными стратегиями в данном направлении являются фортификация, селекция растений и управление плодородием почвы. На практике это обозначается терминами «промышленная фортификация», «генетическая биофортификация» или «агрономическая биофортификация».

Биофортификация – процесс увеличения биодоступной концентрации элемента в съедобных частях сельскохозяйственных культур посредством агрономического вмешательства или генетической селекции [267].

Биофортификация представляет собой новый подход, который в настоящее время еще исследуется. Существует потенциал для селекции растений с целью увеличения содержания ЭН в различных злаковых, бобовых культурах и клубнеплодах [167; 180; 218]. Однако необходимы дополнительные исследования для подтверждения эффективности, безопасности и оценки степени воздействия таких продуктов на окружающую среду [325].

Более приемлемой является промышленная фортификация, т. е. обогащение сырья, используемого при производстве пищевых продуктов или обогащение самих пищевых продуктов.

В случаях, когда существующие запасы продовольствия и ограниченный доступ к ним не могут обеспечить адекватный уровень соответствующих ЭН в рационе, обогащение продуктов питания является эффективной технологией, направленной на снижение уровня дефицитов.

Употребление обогащенных пищевых продуктов является физиологичным способом восполнения дефицита эссенциальных нутриентов (ДЭН) у каждого конкретного человека.

1.2 Современные технологические подходы к фортификации пищевых систем

Наиболее эффективным способом коррекции алиментарных нарушений, широко используемым в промышленно развитых странах мира, является создание новых обогащенных пищевых продуктов, отличающихся специализированным составом [53; 237; 356].

Обогащение пищевых продуктов обычно рассматривается как целенаправленное добавление одного или нескольких ЭН в определенные пищевые продукты с целью увеличения потребления этих ЭН для устранения выявленных дефицитов или обеспечения профилактики их возникновения [66].

Обогащенные пищевые продукты способны оказывать направленное действие на функциональную активность отдельных органов и систем, а также на организм человека в целом [107].

Термин «обогащение» соответствует термину «фортификация» продуктов питания.

Фортификация, или усиление (от англ. amplification), – дополнительное обогащение продуктов питания недостающими пищевыми веществами до уровня, превышающего их естественное содержание [66].

Согласно терминологии профилактической медицины, под фортификацией продуктов питания понимается метод комплексного обогащения продуктов питания повседневного спроса нутриентами: витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами, полиненасыщенными жирными кислотами, который применяется при фактическом дефиците нутриентов в рационе питания человека. При фортификации могут использоваться и биологически активные вещества, и добавки к пище природного происхождения, в том числе бифидобактерии, олигосахариды и др. микронутриенты, дефицит которых доказан для конкретной территории применения продуктов населением [2].

Фортификация пищевых систем имеет долгую историю применения в промышленно развитых странах для нивелирования дефицита витаминов А и D, ряда витаминов группы В (тиамина, рибофлавина и ниацина), йода и железа [237].

При фортификации может быть увеличена концентрация одного ЭН в одном пищевом продукте либо использованы комбинации продуктов и ЭН.

При выборе направления фортификации приоритет должен отдаваться контролю уровня ЭН, дефицит которых наиболее распространен среди населения и оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на здоровье.

«Общие принципы добавления необходимых питательных веществ в пищевые продукты», входящие в «Кодекс алиментариус», определяют обогащение как «добавление одного или несколько ЭН независимо от того, содержится оно в норме или нет, в пищевые продукты с целью предотвращения или устранения выявлен-

ного дефицита одного или нескольких ЭН в популяции или конкретных группах населения» [184].

Согласно «Кодекс алиментариус», первым условием выполнения любой программы фортификации «должна быть доказанная необходимость увеличения потребления ЭН одной или несколькими группами населения в форме фактических клинических или субклинических данных, подтверждающих дефицит и низкий уровень потребления ЭН или возможные последствия, к которым могут привести изменения в модели питания» [184].

Фортификация пищевых систем (ФПС) имеет двойное преимущество: во-первых, она позволяет доставлять ЭН всем группам населения, а во-вторых, не требует радикальных изменений в структуре потребления продуктов питания [53]. Таким образом, ФПС не требует изменения пищевых привычек у потребителей, чего, как правило, трудно достичь, особенно в краткосрочной перспективе, и не приводит к изменению потребительских свойств продукта.

На эффективность ФПС влияет ряд факторов: способ фортификации, биодоступность микронутриентов и объем потребления обогащенных пищевых продуктов [237; 251; 274].

ФПС имеет ряд преимуществ по сравнению с другими мерами, направленными на профилактику и устранение ДЭН.

При регулярном и частом употреблении обогащенных пищевых продуктов эффект сохранения ЭН организмом выше, чем в случае периодического употребления биологически активных добавок (БАД).

Фортифицированные продукты в большей степени снижают риск ДЭН, связанных с сезонностью употребления отдельных пищевых продуктов или с несбалансированным питанием. Это особенно важно для детского организма, которому необходимо постоянное поступление ЭН для роста и развития, и женщин фертильного возраста.

ФПС обычно направлена на обеспечение поступления ЭН в количествах, приближенных к тем, которые содержатся в сбалансированных рационах. Следо-

вательно, обогащенные посредством ФПС продукты, в отличие от БАД, будут содержать близкие к естественным количества ЭН.

Обогащенные продукты повседневного и массового спроса способны быстро улучшить состояние питания значительной части населения независимо от уровня дохода, в том числе находящейся в группе риска.

Известно, что у людей с несбалансированным питанием достаточно часто встречаются полидефицитные состояния. В связи с этим необходима фортификация несколькими ЭН одновременно.

На этапе производства чаще всего можно добавить один или несколько ЭН без существенного увеличения общей стоимости пищевого продукта.

При правильном регулировании процесса ФПС риски возникновения хронических НИЗ минимизируются [107].

ФПС зачастую более рентабельна, чем другие способы устранения ДЭН, особенно если базовая технология производства уже разработана и применяется на предприятии. В этом случае она может быть быстро внедрена в производство и, соответственно, стать экономически эффективным способом профилактики ДЭН у населения, находящегося в группе риска.

Однако существуют следующие ограничения и препятствия для ФПС.

Несмотря на то, что обогащенные продукты содержат повышенное количество отдельных ЭН, они не заменяют полноценный рацион, обеспечивающий поступление достаточного количества энергии, белков, незаменимых жирных кислот и других нутриентов для поддержания оптимального уровня здоровья.

Не каждый обогащенный продукт питания может употребляться всеми членами одной семьи. Например, дети раннего возраста не смогут получить рекомендуемую норму всех ЭН из обогащенных продуктов питания, предназначенных для широкого круга потребителей. ФПС не способна обеспечить достаточным количеством некоторых ЭН людей, которым рекомендован повышенный уровень их потребления (например, беременные женщины). В этом случае для удовлетворения потребностей в ЭН по-прежнему будут необходимы БАД [237].

Потребление продуктов, обогащенных посредством ФПС, может быть ограничено покупательной способностью населения с низким уровнем дохода. Данные группы населения склонны покупать самые дешевые пищевые продукты, что ограничивает потребление адекватных количеств ЭН и разнообразного ассортимента пищевых продуктов, богатых ЭН, таких как продукты животного происхождения, плоды и овощи. Для решения этой проблемы необходимо использовать для обогащения соответствующие виды пищевых продуктов, употребляемых в достаточных количествах данной целевой группой.

Технологические проблемы ФПС на сегодняшний день также до конца не решены. Остаются вопросы относительно соответствующих уровней ЭН, стабильности фортификаторов, взаимодействия элементов химического состава (недостаточно данных о взаимном влиянии различных ЭН, вносимых в виде смеси, что усложняет выбор способа их внесения), физических свойств, а также потребительских свойств, таких как органолептические (ряд фортификаторов может отрицательно влиять на органолептические показатели пищевых продуктов) и технологические [166].

Количество вносимого фортификатора может быть ограничено свойствами пищевой системы и (или) самого фортификатора. С этой целью разработаны и используются новые технологии (например, инкапсулирование ЭН), однако ряд вопросов остается нерешенным [237; 274].

Еще один барьер связан с отсутствием интереса у производителей из-за возможных рисков низкого рыночного спроса на обогащенные пищевые продукты; возникновения производственных затрат на проведение испытаний по определению уровня ЭН, на приобретение и техническое обслуживание оборудования, увеличение численности производственного персонала, необходимость анализа потребительских предпочтений, формирование и поддержание спроса, а также внедрение средств контроля и обеспечение качества и безопасности готовой продукции.

Пищевые продукты чаще всего фортифицируются витаминами, микроэлементами, полифенолами, фитостеринами, пептидами, клетчаткой, пребиотиками, пробиотиками, полиненасыщенными жирными кислотами и т. д. [66; 196; 237].

Существуют следующие формы фортификации:

- фортификация продуктов для широкого круга потребителей, или так называемая массовая фортификация;
- фортификация специализированных пищевых продуктов;
- фортификация продуктов с высоким потребительским спросом, или «фортификация, регулируемая рынком» [47; 237].

Фортификация продуктов для широкого круга потребителей почти всегда направлена на решение проблемы обеспечения здоровья населения. В России она носит добровольный характер, а в ряде зарубежных стран имеет нормативные ограничения [66; 237].

Эта форма фортификации наиболее приемлема, так как большинство населения подвержено риску возникновения ДЭН, о чем свидетельствуют низкие уровни их поступления и (или) маркеры, связанные с состоянием здоровья. В том случае, если население не испытывает ДЭН, фортификация может обеспечить его профилактику [217].

Целью употребления специализированных пищевых продуктов является обеспечение значительной доли суточной потребности целевой группы в ЭН.

Термин «фортификация, регулируемая рынком» применяется в случаях, когда производитель проявляет бизнес-ориентированную инициативу по добавлению определенного количества одного или нескольких ЭН в рецептуру традиционного пищевого продукта.

Такая форма фортификации может сыграть положительную роль в обеспечении здоровья населения, способствуя удовлетворению потребностей в ЭН, тем самым снижая риск возникновения ДЭН [199].

Основополагающее значение для ФПС имеет выбор подходящей комбинации «пищевая система – фортификат». Форма фортификата и пищевая система для фортификации определяются исходя из того, насколько имеющийся риск для здоровья населения, возникающий за счет ДЭН, оправдывает разработку ФПС [237].

На практике выбор комбинации «пищевая система – фортификат» регулируется рядом факторов, как технологических, так и нормативных. Такие продукты, как крупы, масла, молочные продукты, напитки и различные приправы (соль, со-

усы и сахар), хорошо подходят для массовой фортификации за счет наличия следующих характеристик:

- употребление значительной частью населения, в том числе группами населения, подвергающимися наибольшему риску возникновения ДЭН;
- регулярное употребление в достаточном и относительно постоянном количестве;
- относительно недорогая и простая технология добавления ЭН;
- покупка и употребление продукта в течение короткого периода времени после производства (позволяет максимально сохранить ЭН при минимальных органолептических изменениях) [166].

При выборе фортификата учитывается оптимальное соотношение между приемлемой стоимостью, биодоступностью и органолептическими характеристиками:

- фортификат не должен изменять органолептические характеристики готового продукта и сенсорно выделяться, должен быть стабильным в заданных пределах;
- если для улучшения стабильности фортификата требуется специальная упаковка, то она не должна приводить к значительному удорожанию продукта;
- необходимо оценить вероятность или возможность отрицательного взаимодействия между фортификатом и пищевой системой, а также другими компонентами, добавленными или естественно присутствующими в ней, которые могут мешать метаболизму;
- стоимость фортификации не должна влиять на доступность таких пищевых продуктов или их конкурентоспособность;
- вносимый ЭН должен достаточно хорошо усваиваться из пищевой системы [110; 281].

Безопасность также является важным фактором фортификации.

Для того чтобы фортификация была эффективной, количество ЭН должно соответствовать рекомендуемым уровням потребления, предусмотренным нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для обеспечения здорового питания [90].

Имеющийся опыт фортификации показывает, что обогащенные продукты улучшают микронутриентный статус населения и обеспечивают профилактику НИЗ [1; 41; 84; 108; 109; 161; 192; 248; 283; 296; 303; 319; 346; 355; 384].

ФПС, полученные с учетом всех указанных выше аспектов, представляются важным элементом оптимизации рационов питания населения с целью профилактики и ранней коррекции НИЗ.

В настоящее время доставка биологически активных веществ (БАВ) в составе пищевых продуктов осуществляется с помощью различных нутрицевтических систем, которые используются для следующих целей:

- обеспечение проницаемости БАВ (доставка через слизистую оболочку кишечника и (или) клеточную мембрану);
- повышение стабильности БАВ при производстве, хранении и потреблении за счет обеспечения их защиты от физической, химической и биохимической модификации (например, под воздействием кислот, оснований или ферментов), что может препятствовать их биодоступности и биологической активности;
- маскировка нежелательных вкусов путем формирования барьера от взаимодействия БАВ со вкусовыми рецепторами;
- управление скоростью высвобождения, в том числе импульсное, продолжительное или целевое высвобождение (контролируемое высвобождение);
- целенаправленная доставка БАВ в нужную область желудочно-кишечного тракта или, более избирательно, в ткани-мишени и даже в клетки-мишени [196; 304].

Многие БАВ характеризуются низкой стабильностью, в том числе химической деградацией в процессе различных технологических операций при производстве пищевых продуктов и их хранении, чувствительностью к УФ-излучению и воздействию кислорода, низкой биодоступностью, и без дополнительной защиты утрачивают свои функциональные свойства [285].

Биодоступность – это сложный процесс, включающий желудочно-кишечное пищеварение, абсорбцию, метаболизм, распределение и биологическую актив-

ность [171]. Она определяется удельным весом вводимой дозы БАВ, который попадает в кровоток (систему кровообращения) в неизменном виде.

Функциональные свойства многих БАВ могут быть не реализованы в организме в связи с низкой или переменной биодоступностью после их употребления [224; 320; 385].

Эффективным способом доставки БАВ является инкапсулирование, которое не только обеспечивает их защиту от деградации, адресное распределение в некоторых органах организма человека, но и влияет на метаболизм [176; 275; 338; 347].

Инкапсулирование – это, с одной стороны, хорошо изученная и широко применяемая в различных отраслях промышленности технология, а с другой – перспективная и наукоемкая технология, представляющая основу для разработки принципиально новых пищевых продуктов.

Инкапсулирование (инкапсуляция) представляет собой процесс иммобилизации частиц твердого тела, жидкости или газа (ингредиента, ядра или активной части материала) во вторичный материал, называемый матрицей, оболочкой, стенкой, инкапсулянтном или материалом-носителем. Матрица представляет собой твердую или жидкую фазу, которая может быть гомогенной или гетерогенной [9; 56; 104; 176; 275; 338; 347].

Оболочка является временной и используется для последующего высвобождения ингредиента. Материал оболочки должен быть способен защитить содержимое и обеспечить его высвобождение при определенных условиях с помощью различных способов: механического разрушения, растворения, расплавления, диффузии через оболочку.

Форма и размер капсул могут быть различными. В зависимости от размера капсул различают микроинкапсулирование (от 3 до 800 мкм) и наноинкапсулирование (от 10 до 1000 нм) [56; 285]. За счет уменьшения размера частиц БАВ его адресная доставка, растворимость и биодоступность могут быть повышены.

Микро- и наноинкапсулирование давно используются в фармацевтической промышленности, тогда как в производстве пищевых продуктов их применение

весьма ограничено в связи с низким количеством общепризнанных безопасных инкапсулирующих агентов и технологий [57; 174].

Главное назначение инкапсулирования заключается в защите, сохранении инкапсулированных веществ, контролируемом и селективном их массопереносе через оболочку микрокапсул (высвобождении), пролонгированном действии и адресной доставке [57; 129].

Инкапсулирование можно рассматривать как способ помещения БАВ в капсулы перед введением в пищевую систему.

Известно, что в зависимости от растворимости в воде БАВ могут быть либо липофильными (ликопин, бета-каротин, лютеин и фитостерины и др.), либо гидрофильными (аскорбиновая кислота, полифенолы и др.). Липофильные БАВ, в свою очередь, могут растворяться в липидах и органических растворителях. Растворимость является основным показателем при определении скорости и механизма высвобождения БАВ. Липофильные соединения имеют плохую растворимость и низкую скорость растворения, следствием чего является их неполное высвобождение.

Материал носителя выбирается исходя из таких физико-химических свойств, как молекулярная масса, растворимость, диффузионная способность и вязкость [104].

Выбор метода инкапсулирования зависит от природы БАВ, материала оболочки, их совместимости, планируемых свойств, в том числе размера капсул, морфологии, стабильности, количества инкапсулируемых БАВ, кинетики высвобождения и остаточной токсичности [56].

В процессе инкапсулирования используют различные материалы, позволяющие высвобождать БАВ в различных условиях: жиры, воска, глицериды, производные полиэтиленгликоля (ПЭГ), сахара, крахмалы и их производные, белки, камеди, декстрины, производные целлюлозы, казеинаты или любые их комбинации и др.

Главная задача инкапсулирования заключается в достижении максимально возможной эффективности – сокращения потерь БАВ, которое обеспечивается путем тщательного подбора метода инкапсулирования, не оказывающего влияния на функциональные свойства инкапсулируемого БАВ.

В настоящее время в пищевой промышленности накоплен опыт инкапсулирования антиоксидантов, витаминов, минералов, кислот, ПНЖК, ферментов, микроорганизмов, ароматизаторов, подсластителей, химических разрыхлителей, красителей, антимикробных добавок и др. [17; 37; 88; 198; 235; 302; 330].

На рисунке 2 представлена характеристика основных технологий инкапсулирования БАВ в пищевых системах.

Распылительная сушка является наиболее распространенной технологией инкапсулирования в пищевых системах. Данная технология обычно используется для производства пищевых продуктов и пищевых добавок, а также пробиотиков [67; 312; 313]. Основным принципом распылительной сушки является дисперсия основного материала в раствор полимера (белка, углевода), образование эмульсии, диспергирование и распыление смеси в горячей сухой камере. Полученные частицы имеют сферическую форму с диаметром в диапазоне 10–100 мкм. Это быстрая, бюджетная, непрерывная и высоковоспроизводимая технология, позволяющая производить большое количество инкапсулятов в непрерывном режиме, применяемая как для гидрофильных, так и для гидрофобных систем.

Тем не менее существует несколько факторов, ограничивающих применение данной технологии:

– ограниченное количество материалов, используемых для изготовления матрицы или оболочки. Материал носителя должен растворяться в воде. Традиционно в качестве материалов оболочки используют карбоксигидраты (камеди, мальтодекстрины, модифицированные крахмалы, альгинаты, карбоксиметилцеллюлоза) и белки (сывороточные белки, соевые белки, казеинат натрия). Чем хуже материал растворяется в воде, тем выше расходы на производство, так как увеличится количество воды, которую необходимо испарить в процессе обработки;

– высокая температура, способствующая возникновению потерь ряда БАВ, чувствительных к нагреванию (например, полифенольных соединений) [215];

– сложно контролировать размер частиц.

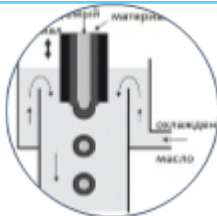
	Распылительная сушка	Распылительная заморозка	Инкапсулирование в кипящем слое	Экструзия расплава	Экструзия
<i>Форма</i>	Порошок (сферические частицы)	Частицы матричного типа	Капсулы	Стекловидные частицы	Гелевые сферические частицы матричного типа
<i>Концентрация</i>	5–50 %	10–20 %	5–50 %	5–10 %	70–90 %
<i>Размер частиц</i>	10–100 мкм	20–200 мкм	100–5000 мкм	300–5000 мкм	0,2–2000 мкм
					
	Липосомы	Коацервация	Инкапсулирование в дрожжевые клетки	Молекулярное инкапсулирование	Эмульсии
<i>Форма</i>	Капсулы	Капсулы	Капсулы	Капсулы	Частицы матричного типа
<i>Концентрация</i>	5–50 %	40–90 %	30–50 %	5–15 %	20–50 %
<i>Размер частиц</i>	10–1000 мкм	10–800 мкм	3–20 мкм	0,001–0,1 мкм	0,2–5000 мкм
					

Рисунок 2 – Характеристика основных технологий инкапсулирования

Распылительная заморозка применяется для сохранения аромата, ферментов, белков, БАВ, таких как витамины и минеральные вещества, пробиотики.

Эта технология подходит для инкапсулирования термочувствительных соединений и считается достаточно экономичной.

Сущность технологии заключается в том, что расплавленная матрица (обычно жиры) с низкой температурой плавления (32–42 °С), содержащая БАВ, распыляется через насадку в холодную камеру, где происходит затвердевание частиц.

Распылительная заморозка имеет некоторые технологические недостатки:

– низкая эффективность инкапсулирования и возможность выхода БАВ из капсулы при хранении;

– большинство активных соединений фактически находится на поверхности микрокапсул, в связи с чем происходит быстрый выпуск инкапсулята, так как БАВ находятся в прямом контакте со средой;

– гидрофобный характер частиц, что может ограничить область применения;

– сложно контролировать размер частиц [306; 308; 310].

Инкапсулирование в кипящем (псевдоожигенном) слое. Согласно данной технологии молекулы матрицы распыляются на твердые частицы псевдоожигенным воздухом, создавая равномерный слой материала оболочки.

В качестве материала могут использоваться жиры, воск, полисахариды, белки, эмульгаторы и сложные составы. В связи с тем, что используется концентрированный состав покрытия, требуется значительно более короткое время обработки, а следовательно, меньшие затраты энергии. Инкапсулирование осуществляется при более низких температурах по сравнению с распылительной сушкой, что может быть использовано в технологии инкапсулирования пробиотиков. В результате достигается равномерный слой оболочки, контролируемое высвобождение БАВ и заданный размер частиц [11; 235; 329].

Основными недостатками этой технологии являются:

– высокие энергозатраты, необходимые для псевдоожигения твердых частиц;

– сложность технологии, в том числе в обработке субмикронных частиц (обычные устройства с псевдооживленным слоем могут эффективно инкапсулировать частицы размером от 100 мкм до нескольких миллиметров);

– деградация высокочувствительных к температуре БАВ.

Покрытие с псевдооживленным слоем как правило используется для производства инкапсулятов, предназначенных для контролируемого высвобождения [57; 145].

Экструзия. Данная технология, запатентованная в 1957 г., применяется для инкапсулирования широкого спектра БАВ и других веществ (ароматизаторов, пробиотиков, ферментов и др.).

Сущность технологии заключается в продавливании раствора полимера через шприц и формировании капель, которые затвердевают (обычно посредством ионного обмена) в форме гелевых микросфер.

Для образования микрочастиц помимо гравитации необходима дополнительная сила.

Данный процесс происходит при относительно низких температурах, в результате которого БАВ полностью защищаются оболочкой из используемого материала.

К недостаткам данной технологии относятся:

– сложность применения в рамках крупномасштабного производства;

– низкая производительность;

– необходимость отделения гелевых микросфер от жидкой ванны;

– ограничение использования в пищевых продуктах из-за сенсорной осязаемости частиц во рту;

– ограничение применения растворов полимера с низкой вязкостью [208; 315; 316; 357; 388].

Экструзия расплава. Основной принцип этой технологии – получение расплава путем уваривания сиропа с высоким содержанием сахаров и добавления при перемешивании инкапсулируемого продукта и эмульгатора.

Концепция этого процесса относительно проста в отличие от конструкции оборудования и применения.

Экструзионная обработка является привлекательным методом инкапсулирования БАВ.

Это экономически эффективная и экологически чистая технология, позволяющая получить инкапсуляты с длительным сроком хранения (углеводная матрица обеспечивает хороший барьер для проникновения кислорода).

Одним из недостатков является высокая энергозатратность за счет применения механической и тепловой энергии. Основным ограничением данной технологии является низкая загрузка БАВ (обычно менее 10 %), что отражается на стоимости [24; 25; 235; 270; 388].

Коацервация, или фазовое разделение, – технология, запатентованная в 1950-х годах, основана на разделении фаз коллоидного раствора на две фазы: с высоким содержанием полимера (коацерват) и жидкую среду. Молекулы противоположно заряженного биополимера смешиваются при рН ниже изоэлектрической точки белка, что приводит к отделению насыщенной коллоидными веществами фазы и образованию комплекса, т. е. коацервата, который выпадает в осадок. В то же время БАВ сохраняется в коацервате.

Достоинствами данной технологии являются:

- высокая концентрация БАВ;
- приемлемость для термочувствительных соединений;
- термостойкость капсул;
- возможность контролируемого высвобождения.

В качестве недостатков можно отметить следующие:

- сложность и трудоемкость метода;
- чувствительность к рН и температуре;
- агрегация и слипание капсул;
- применение токсичных химических веществ;
- присутствие на поверхности капсул остаточных растворителей и коацервирующих агентов [100; 227; 255; 357].

Молекулярное инкапсулирование – это захват и удержание БАВ во внутренней полости молекулы циклодекстрина за счет ее гидрофобных свойств. Часть удерживаемой молекулы попадает в полость и образует комплекс.

Большинство литературных данных отражают опыт образования таких комплексов с летучими и нестойкими ароматизаторами и гидрофильными БАВ. Комплексы обеспечивают длительный срок хранения и высокую термическую стабильность ароматизатора (до 200 °С).

К преимуществам данной технологии относятся:

- эффективная защита БАВ;
- высокая термическая стабильность капсулы;
- контролируемое высвобождение БАВ.

Применение данной технологии ограничено использованием неполярных соединений с соответствующими молекулярными характеристиками и высокой стоимостью [233; 278; 379].

Липосомы представляют собой биоразлагаемые и биосовместимые самоформирующиеся сферические липидные везикулы, сформированные из холестерина и природных нетоксичных фосфолипидов, состоящие из одного или нескольких концентрических слоев. Их стенка представляет собой бислойную мембрану, в которую могут быть встроены другие вещества (например, белки). Внутри липосом содержится вода или раствор. Диаметр липосом может быть в пределах от 20 нм (моноламеллярные везикулы с одной бислойной стенкой) до 10–50 мкм (мультиламеллярные везикулы со стенкой, состоящей из десятков или сотен бислоев) [16; 23; 204; 305].

Липосомальная «ловушка» может защищать БАВ от различных воздействий, в том числе ферментов, pH, температуры и пр.

Благодаря своему микроскопическому размеру, гидрофобным и гидрофильным свойствам, а также способности инкапсулировать молекулы БАВ либо в водную часть везикул, либо в липофильную мембрану, липосомы считаются перспективными для эффективного использования в качестве систем доставки БАВ. Тем

не менее критическими недостатками липосом являются их физическая и химическая нестабильность [73; 151; 305].

Инкапсулирование в дрожжевые клетки. Сущность процесса заключается в том, что экзогенные и чаще всего гидрофобные соединения диффундируют и в итоге пассивно захватываются телом клетки и могут высвободиться в соответствующих условиях. Дрожжевые клетки используются как живые, так и мертвые, неповрежденные, проницаемые или даже очищенные от всего содержимого цитоплазмы. Содержание БАВ в дрожжевой клетке может достигать до 70 %, но чаще всего не превышает 30–50 %. Основными преимуществами этой технологии являются низкая стоимость, биоразлагаемость и биосовместимость капсул. Такой способ инкапсулирования на сегодняшний день преимущественно ориентирован на пищевые системы, требующие постепенного высвобождения БАВ [35; 36; 39; 185; 191; 197].

Эмульсии широко используются для инкапсулирования БАВ, ароматизаторов и других пищевых добавок.

Для инкапсулирования с помощью эмульсий могут использоваться гидрофильные, гидрофобные и амфифильные БАВ [289].

Преимуществами технологии эмульгирования являются:

- высокая степень растворимости БАВ;
- высокая кинетическая стабильность;
- наличие достаточного объема матрицы для адресной доставки биологически активных соединений;
- защита капель масла от повторного слияния.

Основными недостатками эмульсий являются следующие:

- они обладают слабой физической стабильностью при воздействии факторов окружающей среды, таких как нагревание, охлаждение, замораживание, сушка, рН и ионные воздействия;
- требуют высокой концентрации ПАВ;
- БАВ с высокой температурой плавления не поддаются легкому растворению.

Новые технологии, такие как двойные эмульсии, эмульсии Пикеринга применяются для обеспечения их стабильности, увеличения биодоступности, абсорбции и/или трансформации БАВ [72; 92; 94; 163; 236; 385; 386; 387].

Эмульсии являются одними из наиболее эффективных пищевых матриц, за счет возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств [7; 236].

Выбор метода инкапсулирования кроме рассмотренных выше факторов зависит также от свойств и характеристик пищевой системы, в которую предполагается вносить частицы БАВ. Следует также учитывать органолептическую совместимость полученных в результате инкапсулирования частиц с пищевой системой. Поэтому далее рассматриваются эмульсионные технологии инкапсулирования для эмульсионных пищевых систем как наиболее органолептически совместимые и при этом позволяющие получить заданный эффект – сохранение БАВ и повышение их биодоступности.

1.3 Научно-практическое обоснование фортификации пищевых систем с помощью БАВ, инкапсулированных в эмульсии

Как известно, эмульсии представляют собой дисперсные системы, состоящие из капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде), чаще всего «вода в масле» (В/М) или «масло в воде» (М/В) [243; 343].

Эмульсии М/В или В/М можно приготовить путем растворения липофильных БАВ в масляной фазе или гидрофильных БАВ в водной фазе и диспергирования этих фаз в присутствии водорастворимого или жирорастворимого эмульгатора. Размер образующихся капель зависит от состава эмульсионной системы и используемого метода ультразвукового диспергирования, а также других факторов [198;

345]. В зависимости от размера капель различают макро- (более 1000 нм), микро- (от 400 до 1000 нм) и наноэмульсии (от 20 до 200 нм) [182; 295; 344].

Эмульсии характеризуются тенденцией к разрушению через некоторое время. Они являются оптически мутными или непрозрачными, поскольку содержащиеся в них капли имеют размеры, аналогичные длине волны света, и поэтому сильно рассеивают свет.

В отличие от описанных выше двойные эмульсии известны как жидкие эмульсионные мембраны, устойчивость которых сформирована за счет наличия несмешивающейся промежуточной фазы, отделяющей мелкие капли от внешней дисперсионной среды. В эмульсиях М/В/М в качестве мембраны выступает водная прослойка, а в эмульсиях В/М/В – масляная [32; 231].

Двойные эмульсии менее стабильны, нежели обычные, вследствие содержания высокоразвитых межфазных поверхностей различной природы с избытком свободной энергии. Причинами их нестабильности являются большие размеры внешних капель, интенсивные процессы массопереноса компонентов между внутренней дисперсной фазой и внешней дисперсионной средой под действием градиентов осмотического давления, а также конкурирующее действие одновременно присутствующих липо- и гидрофильных поверхностно-активных веществ.

Двойные эмульсии благодаря своему строению и свойствам способны иммобилизовать водо- и жирорастворимые компоненты в одну из своих несмешивающихся фаз с последующим их пролонгированным высвобождением, способны усиливать действие БАВ, защищать включенные в них вещества от деградации, могут использоваться для захвата токсичных веществ из разбавленной дисперсионной среды во внутреннюю дисперсную фазу [132].

Эмульсии широко используются в качестве средства доставки для различных нутрицевтиков, таких как ПНЖК, витамины, ароматизаторы и другие соединения.

В системах доставки на основе эмульсий изолированное БАВ сначала растворяется в масляной фазе эмульсии М/В во время ее образования либо в водной фазе эмульсии В/М в зависимости от его гидрофильных свойств. Результаты ряда исследований (таблица 2) свидетельствуют о том, что системы доставки на основе эмуль-

сий могут использоваться для инкапсулирования БАВ с целью повышения их биодоступности, проницаемости и устойчивости к метаболическим процессам.

Таблица 2 – Практическое применение технологии инкапсулирования БАВ в эмульсии

Вид эмульсии	БАВ	Материалы	Вид пищевого продукта	Источник
Двойные эмульсии	Магний	Растительное масло, вода, стабилизатор – чечевичная мука	Мучные кондитерские изделия	[254]
В/М	Пробиотик (<i>Bifidobacterium lactis</i>)	Растительное масло, пчелиный воск, стабилизатор – полиглицерина полирицинолеат (PGPR)	–	[382]
М/В	β -каротин	МСТ, стабилизатор – гороховый белок, эпигаллокатехина галлат и железо	–	[190]
М/В	β -каротин	Масло, вода, стабилизатор – ацетилованный полисахарид	–	[246]
М/В	β -каротин	Соевое масло, вода, стабилизатор – комплекс пектина, рамнолипида, изолята горохового белка, куркумина	–	[238]
М/В	Льняное масло	Льняное масло, вода стабилизатор – белок-полисахаридная смесь (БПС)	Мармеладные массы	[18]
М/В	Йод	Масло, вода, рыбный коллаген	Мясные и рыбные полуфабрикаты	[7]
Микроэмульсии М/В	Степпогенин	Арахисовое и соевое масла, дистиллированная вода, стабилизаторы – Tween 80, Tween 60, Tween 40, Твин 20	Яблочный сок	[351]
М/В	Куркумин	ПАВ, белково-полисахаридные конъюгаты и комплексы, твердые частицы	–	[156]
Эмульсия Пикеринга			–	[156]
Наноэмульсия М/В			–	[156]

Продолжение таблицы 2

Вид эмульсии	БАВ	Материалы	Вид пищевого продукта	Источник
Наноэмульсия М/В	β -каротин	Растительное масло, вода, мальтодекстрин	–	[178]
Наноэмульсия М/В	Дигидрокверцетин	Льняное масло, дистиллированная вода, стабилизатор – гуаровая камедь	Хлебобулочные изделия	[38; 93]
Наноэмульсия М/В	Катехины зеленого чая	Подсолнечное масло, катехины зеленого чая, 1-додеканол, Tween 80	–	[228]
Эмульсия Пикеринга М/В	Комплекс полисахаридов бурых водорослей (фукоидан и Alg-Na), сонохимически модифицированного крахмала, экстрагированных фенольных веществ <i>T. cordifolia</i> , оксида цинка ZnO	Масло, вода, полисахариды бурых водорослей (фукоидан и Alg-Na), сонохимически модифицированный крахмал, экстрагированные фенольные вещества <i>T. cordifolia</i> (алкалоид берберин), оксид цинка ZnO	–	[94]
Наноэмульсия Пикеринга М/В	Масло семян кенафа	Масло семян кенафа, вода, стабилизаторы – смесь казеината натрия, Tween 20 и β -циклодекстрина	–	[179]
Двойная эмульсия В/М/В	Инсулин и кверцетин	Соевое масло, вода, стабилизаторы – лецитин, пектин, белок черной фасоли и Tween 80	–	[239]
Двойная эмульсия В/М/В	Пробиотик (<i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>)	Рапсовое масло, вода, стабилизатор – комплекс сывороточного белка и пектина	–	[271]
Двойная эмульсия В/М/В	Низкомолекулярные пептиды устриц	Внутренняя водная фаза (NaCl, дистиллированная вода, низкомолекулярные пептиды устриц), подсолнечное масло, МСТ, рыбий жир, внешняя водная фаза (сывороточный протеин, фруктоолигосахариды и мальтодекстрины, дистиллированная вода), стабилизаторы Tween 80, PGPR	–	[268]

Продолжение таблицы 2

Вид эмульсии	БАВ	Материалы	Вид пищевого продукта	Источник
Двойная эмульсия В/М/В	Гидрофобный куркумин и гидрофильный эпигаллокатехина галлат	МСТ, PGPR, стабилизаторы – фибриллы изолята сывороточного белка и нанокристаллы целлюлозы	–	[186]
Двойная эмульсия М/В/М	Ароматизатор	Пальмовое и рапсовое масла, мальтодекстрин, гуммиарабик, дистиллированная вода, стабилизаторы – Span 80 и PGPR	–	[181]
Двойная эмульсия В/М/В	<i>Транс</i> -ресвератрол	Масло, вода, этанол, Tween 20, <i>транс</i> -ресвератрол	Йогурт	[200]

Лишь в небольшой части приведенных в таблице 2 исследований показан опыт применения технологии инкапсулирования в конкретных пищевых продуктах. Технология фортификации с помощью эмульсий была изучена в контексте пищевых продуктов, таких как хлебобулочные, кондитерские изделия, мясные полуфабрикаты и напитки.

Эмульсии в зависимости от направленности должны либо способствовать быстрому и полному высвобождению БАВ, либо обеспечивать их пролонгированное действие. Поскольку эмульсии – это многофазные дисперсные системы, в состав которых могут входить различные компоненты, то они позволяют регулировать высвобождение и всасывание БАВ. Для этого необходимо учитывать липофильность БАВ, состояние, в котором оно находится в эмульсии, место локализации (жировая либо водная фаза, жидкокристаллическая фаза ПАВ). По указанным критериям подбирается соответствующая технология, позволяющая влиять на биодоступность БАВ [148; 343].

Тип эмульсии и свойства дисперсионной среды также влияют на высвобождение БАВ. При высвобождении БАВ из внутренней фазы эмульсии дисперсная среда выступает энергетическим барьером, в которой БАВ не растворяется. Наблюдается эффект замедления скорости его высвобождения. Данный эффект неодина-

ков для различных типов эмульсий. При этом масляная среда является более существенным барьером для гидрофильных веществ, чем водная среда для липофильных. Объясняется это наличием в водной среде ПАВ, которые характеризуются солюбилизующими свойствами и обеспечивают транспортирование липофильных веществ к биомембранам [132; 157; 373].

Существенными факторами, которые необходимо учитывать перед формированием эмульсионной системы для эффективного инкапсулирования и контролируемого высвобождения БАВ, являются выбор масляной фазы и подходящего эмульгатора [52]. Масляная фаза действует как носитель для липофильных БАВ, а также обеспечивает формирование пищевой ценности продукта, вкуса и аромата, которые влияют на его восприятие, а также консистенции.

Молекулы эмульгатора не способны снизить межфазные силы, что необходимо для приготовления равномерно диспергированной системы. Таким образом, требуется внешняя энергия для создания сильных разрушающих сил с целью равномерного распределения всех ингредиентов, а также для того, чтобы разбить более крупные капли масла на более мелкие.

Важным фактором также является стабильность эмульсии в момент инкапсулирования. Стабильная эмульсия позволяет сохранять свойства БАВ при продолжительном хранении с целью последующего контролируемого их высвобождения [42; 91; 252; 288; 309].

Стабильные тонкодисперсные эмульсии производятся путем высокоэнергетического эмульгирования или диспергирования с использованием различных механических устройств, ультразвука, мешалок с большим усилием сдвига и гомогенизаторов высокого давления. Использование высокой энергии приводит к уменьшению размера капель и позволяет формировать эмульсии с более высоким соотношением масла и ПАВ по сравнению с низкоэнергетическими методами [8; 30; 33; 204; 205; 243; 262; 373].

Ультразвуковая обработка представляет собой инновационный технологический подход к инкапсулированию БАВ. В процессе получения ультратонких эмульсий она выступает одним из этапов процесса эмульгирования. Она характеризуется

низкой энергоемкостью, высокой производительностью и позволяет получить тонкодисперсные и стабильные эмульсии [40; 55; 58; 153; 170; 259; 277; 286; 333].

Формирование капель эмульсии при ультразвуковом воздействии происходит в результате схлопывания кавитационных пузырьков, заполненных газом, и локального высвобождения значительной энергии при мгновенном повышении давления и температуры. При этом происходят разнородные физические процессы, такие как протекание химических реакций, формирование интенсивных микропотоков, ударных волн, появление ультразвукового свечения и т. д., которые, одновременно воздействуя на обрабатываемые эмульсии, способствуют интенсивному их перемешиванию и получению однородной и тонкодисперсной эмульсии [54; 146; 256; 353].

Повышение мощности ультразвукового воздействия до определенного предела способствует образованию более мелких капель дисперсной фазы.

Основными преимуществами данной технологии являются снижение энергопотребления, ее простота при высокой производительности, возможность получить тонкодисперсные, стабильные эмульсии с низкой полидисперсностью, возможность применения термочувствительных БАВ. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, риск разрушения эмульсии из-за перегрева [269; 343].

Большое значение в формировании функциональных свойств эмульсионных пищевых систем имеет применение в масляной фазе биоактивных составляющих. В первую очередь с этой целью следует рассматривать полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК).

Современные биохимические исследования привели к следующим выводам. Во-первых, в организм человека должно поступать достаточное количество ω -3 жирных кислот, во-вторых, соотношение ω -3 и ω -6 жирных кислот должно находиться в пределах 1:5–10 [22; 77; 90].

Среди всех жирных кислот важнейшую роль в функционировании организма играют две длинноцепочечные ПНЖК: эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК).

Целый ряд эпидемиологических исследований подтвердил высокую эффективность ЭПК и ДГК в профилактике сердечно-сосудистых, неалкогольных жировых

вых заболеваний печени, инсулинорезистентности, диабета II типа, нейродегенеративных заболеваний и др. [115; 169; 209; 245; 377].

Организм человека способен синтезировать некоторое количество ЭПК и ДГК из незаменимой α -линоленовой кислоты (АЛК), источниками которой являются исключительно продукты растительного происхождения, в том числе льняное, рыжиковое, горчичное и другие масла [113]. Однако вероятность данного преобразования невелика, и с помощью синтеза можно обеспечить лишь 5 % физиологических потребностей организма. Так, увеличение количества АЛК в рационе не всегда приводит к увеличению содержания в крови ЭПК и ДГК, тогда как прямое их потребление приводит к пропорциональному увеличению их концентрации в тканях организма человека [5; 22]. Следовательно, основное количество ЭПК и ДГК должно поступать в организм человека с продуктами питания. В рыбе они представлены в наибольших концентрациях.

Рядом исследований подтверждено, что способ доставки жиров влияет на их переваривание, усвоение и метаболизм. Доказано, что поступление масел в форме эмульсий способствует значительному накоплению ЭПК и ДГК в плазме крови и печени за счет более эффективного превращения АЛК в ЭПК и ДГК из-за повышенной абсорбции масла в тонкой кишке [327; 349].

Однако эмульгированные масла с высоким содержанием ПНЖК и большой площадью поверхности подвержены быстрому окислению под воздействием температуры, света и кислорода, что приводит к снижению их биологической активности [155]. Эти изменения отрицательно сказываются на сохраняемости пищевых продуктов и их пригодности к употреблению, что ограничивает использование рыбьего жира и растительных масел для обогащения пищевых продуктов [158; 361]. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость их инкапсулирования перед включением в пищевые системы.

Так, проведены исследования по инкапсулированию рыбьего жира в эмульсию с последующим ее включением в молочные продукты (сыры, молоко, йогурт), колбасные изделия, пищевые концентраты, продукты детского питания, макаронные изделия, соки, результаты которых показали снижение степени окисле-

ния длинноцепочечных ω -3 ПНЖК в процессе обработки, устойчивость к окислению при сохранении реологических свойств и улучшении органолептических показателей [164; 165; 189; 202; 212; 250; 253; 301; 311; 323; 335; 348; 350; 362; 365; 366; 374].

Имеется опыт получения с помощью ультразвука пищевых эмульсий М/В на основе льняного, кокосового, подсолнечного и горчичного масел, а также масла базилика [232; 233; 234; 235; 236].

Инкапсулирование растительных масел (льняного, оливкового) было успешно применено в технологиях супов, соусов, хлебобулочных и кондитерских изделий, что позволило снизить их способность к окислению и позволило получить продукт с высокими потребительскими характеристиками [230; 324; 341; 360].

Несмотря на то, что эмульсионные пищевые системы широко представлены на потребительском рынке, они обладают высоким потенциалом для расширения направления фортификации с помощью БАВ, что при регулярном их употреблении будет способствовать алиментарной коррекции ряда неинфекционных заболеваний населения.

1.4 Обоснование выбора эмульсионных пищевых систем в качестве объекта исследований

Эмульсии нашли применение во многих отраслях промышленности, в том числе пищевой промышленности и индустрии питания. Технология эмульгирования имеет преимущества в пищевой промышленности. Эмульсионная основа является удобной системой для введения функциональных пищевых ингредиентов с липо- и гидрофильными свойствами при создании новых видов функциональных пищевых продуктов [7; 125; 294]. Различные типы эмульсий все чаще используются в качестве средств доставки БАВ для повышения их биодоступности.

В последние годы эмульсии являются объектом целого ряда научных исследований (рисунок 3).

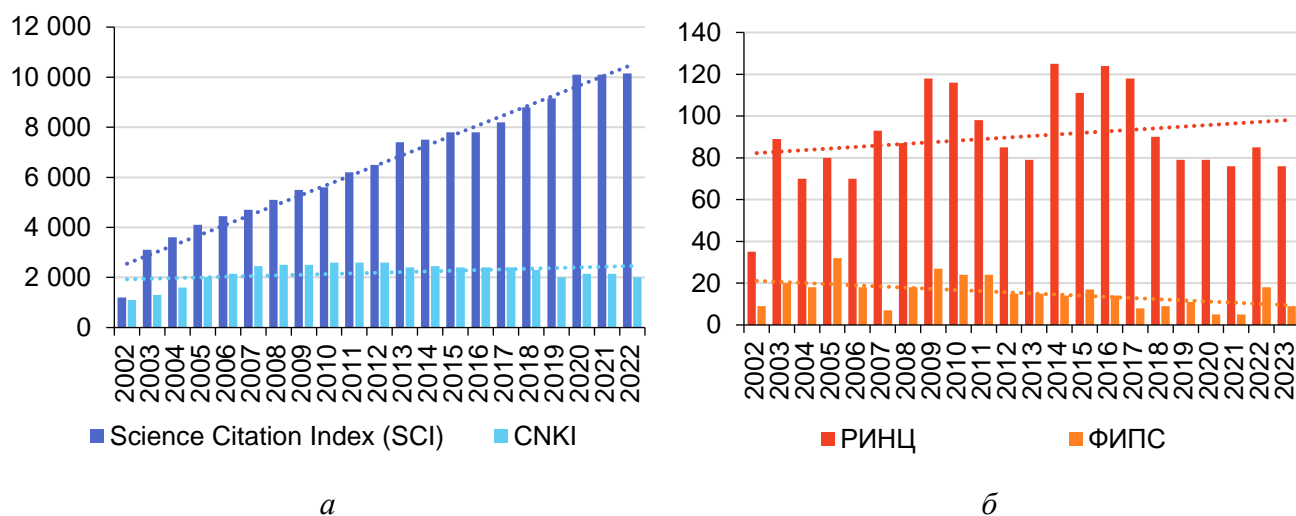


Рисунок 3 – Динамика количества научных публикаций, посвященных эмульсиям, в международных базах данных [367] (а), отечественных патентных документах и РИНЦ (б)

Основными направлениями исследований выступают повышение стабильности эмульсий, а также их использование для защиты и доставки биоактивных ингредиентов. Количество опубликованных научных статей в международных базах данных, содержащих результаты в данной области исследований, увеличивается на протяжении более чем 20 лет (рисунок 3а). С постепенным расширением диапазона практического применения эмульсий цель исследований постепенно изменялась от получения наноэмульсий и эмульсий с высокой стабильностью до формирования функциональных эмульсий с более высокой степенью усвояемости, устойчивости к действию различных факторов и контролируемым высвобождением БАВ. Кроме того, прослеживается тенденция замены химических эмульгаторов, используемых для стабилизации эмульсий, природными биомакромолекулами.

Анализ научных статей, проиндексированных в РИНЦ, и отечественных патентных документов позволил сделать следующие выводы:

– наблюдается тенденция стабильного применения эмульсий при проведении исследований в области пищевой промышленности и индустрии питания;

– в определенные годы наблюдается увеличение количества таких научных исследований;

– в большей части научных исследований эмульсии вступают в качестве основы для формирования новой пищевой системы с заданными свойствами (использование нетрадиционных ингредиентов, снижение калорийности и т. д.); инструмента в технологических процессах различных пищевых систем (внесение ингредиентов в эмульгированном состоянии для формирования заданных качественных характеристик), а также изучаются вопросы обеспечения стабильности и тонкодисперсности эмульсий за счет применения различных эмульгаторов, технологии эмульгирования и оборудования, используемого для формирования эмульсий;

– лишь небольшая часть исследований направлена на использование пищевых эмульсий для защиты и доставки биоактивных ингредиентов;

– недостаточно представлены результаты применения эмульсий с биоактивными ингредиентами в качестве фортификата для конкретных пищевых продуктов;

– практически отсутствуют примеры разработки эмульсионных пищевых продуктов, фортифицированных биоактивными эмульсиями.

Таким образом, существует потенциал для исследования эмульсий, обогащенных биоактивными ингредиентами, с целью анализа их модификации происходящей под воздействием физических или химических факторов за счет процессов абсорбции, целевого высвобождения и метаболизма, а также разработки на их основе биоактивных эмульсионных пищевых систем.

Использование эмульсионных пищевых систем в качестве объекта фортификации биоактивными ингредиентами обусловлено тем, что большинство из них являются достаточно востребованными у потребителей, рынок таких продуктов высокостойкий, насыщенный и конкурентный. Так, объемы российского рынка майонеза и майонезных соусов, а также маргариновой продукции и спредов в последние годы относительно стабильны [64; 78; 96; 118; 117] (рисунок 4). Кроме того, по данным Роспотребнадзора, обогащенная масложировая продукция находится в числе продуктов с отрицательным коэффициентом ассортимента более чем в половине субъектов Российской Федерации [79].



Рисунок 4 – Динамика производства масложировой продукции

Наряду с ростом объемов производства молочных продуктов, в последние годы, следуя тенденции стабильного мирового роста потребления в среднем на 2,2 % в год, растут объемы производства напитков на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса), имеющие эмульсионную основу.

Большая часть напитков на растительной основе на российском рынке – отечественного производства. Основными производителями являются компании «Сады Придонья», «ЭФКО», «Данон Россия», «Союзпищпром» [6].

Теоретическая база проведенных ранее исследований послужила основой для формирования направления настоящих исследований -разработки эмульсионных пищевых систем с использованием биоактивных ингредиентов для применения в пищевой промышленности и индустрии питания.

Выводы по главе 1

Актуальность обозначенной научной проблемы обусловлена имеющейся на сегодняшний день потребностью в решении задач по обеспечению доступного здорового питания населения и, как следствие, снижению числа НИЗ, являющихся основной причиной заболеваемости и смертности. Это, в свою очередь, повышает значимость действий, направленных на решение указанных задач, в том числе с

помощью разработки новых технологических решений, способных обеспечить высокоэффективную доставку БАВ и их высокую биодоступность. Такой технологией является фортификация пищевых систем, позволяющая доставлять ЭН всем группам населения, не требуя радикальных изменений в структуре потребления.

В качестве инструмента для решения поставленных задач необходимо использовать инкапсулирование БАВ как технологию, имеющую потенциал применения в пищевых системах и являющуюся эффективным средством обеспечения профилактики НИЗ за счет снижения потерь БАВ, контролируемого и селективного их высвобождения, пролонгированного действия и адресной доставки.

Несмотря на то, что существует много подходов к инкапсулированию БАВ, таких как липосомы, мицеллы, гидрогели и др., которые улучшают их диспергируемость, биодоступность и химическую стабильность, эмульгирование в условиях совершенствования и оптимизации его процессов, направленных на повышение эффективности и расширения способов применения, имеет исключительные преимущества в пищевой промышленности.

Эмульсии широко используются в качестве средства доставки для различных нутрицевтиков с целью повышения их биодоступности, проницаемости и устойчивости к метаболическим процессам. Однако, опыт применения данной технологии инкапсулирования в конкретных пищевых продуктах незначителен. Технология фортификации с помощью эмульсий была изучена в контексте ограниченного ассортимента пищевых продуктов.

Анализ научных исследований, направленных на изучение эмульсий, за период более чем 20 лет, в ходе которого был раскрыт потенциал для исследования эмульсий, обогащенных биоактивными ингредиентами, позволил обосновать выбор эмульсионных пищевых систем в качестве объекта исследований.

Результаты анализа научной информации позволяют сделать заключение о недостаточности исследований, направленных на создание эмульсионных пищевых систем, фортифицированных БАВ по технологии двойных эмульсий. Дальнейшие исследования в данном направлении имеют большое значение для рационального проектирования ФПС.

2 Организация эксперимента, объекты и методы исследования

2.1 Организация проведения исследований

Теоретические и экспериментальные исследования диссертационной работы выполнялись в период с 2011 по 2024 г.

Основной объем исследований выполнен автором в лабораториях ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»; микробиологической лаборатории СибНИИТИП; в клинике экспериментальных животных ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора.

Работа проводилась в рамках научных исследований по договору Т-40/2021, тема: «Разработка инновационных подходов управления качеством пищевой продукции».

Общая схема постановки и организации эксперимента представлена на рисунке 5.

Исследования состояли из нескольких взаимосвязанных этапов.

На *первом этапе*, в рамках аналитического обзора литературы, представлен анализ предпосылок практического применения фортификации эмульсионных пищевых систем, особое внимание уделено современным технологическим подходам фортификации пищевых систем, представлено научно-практическое обоснование фортификации пищевых систем с помощью БАВ, инкапсулированных в эмульсии.

На *втором этапе* сформирована научная концепция, заключающаяся в разработке методологии, экспериментальном подтверждении и практической апробации новых технологических решений по повышению сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС, проведено планирование эксперимента, определены объекты и методы исследования, разработан дизайн исследования.

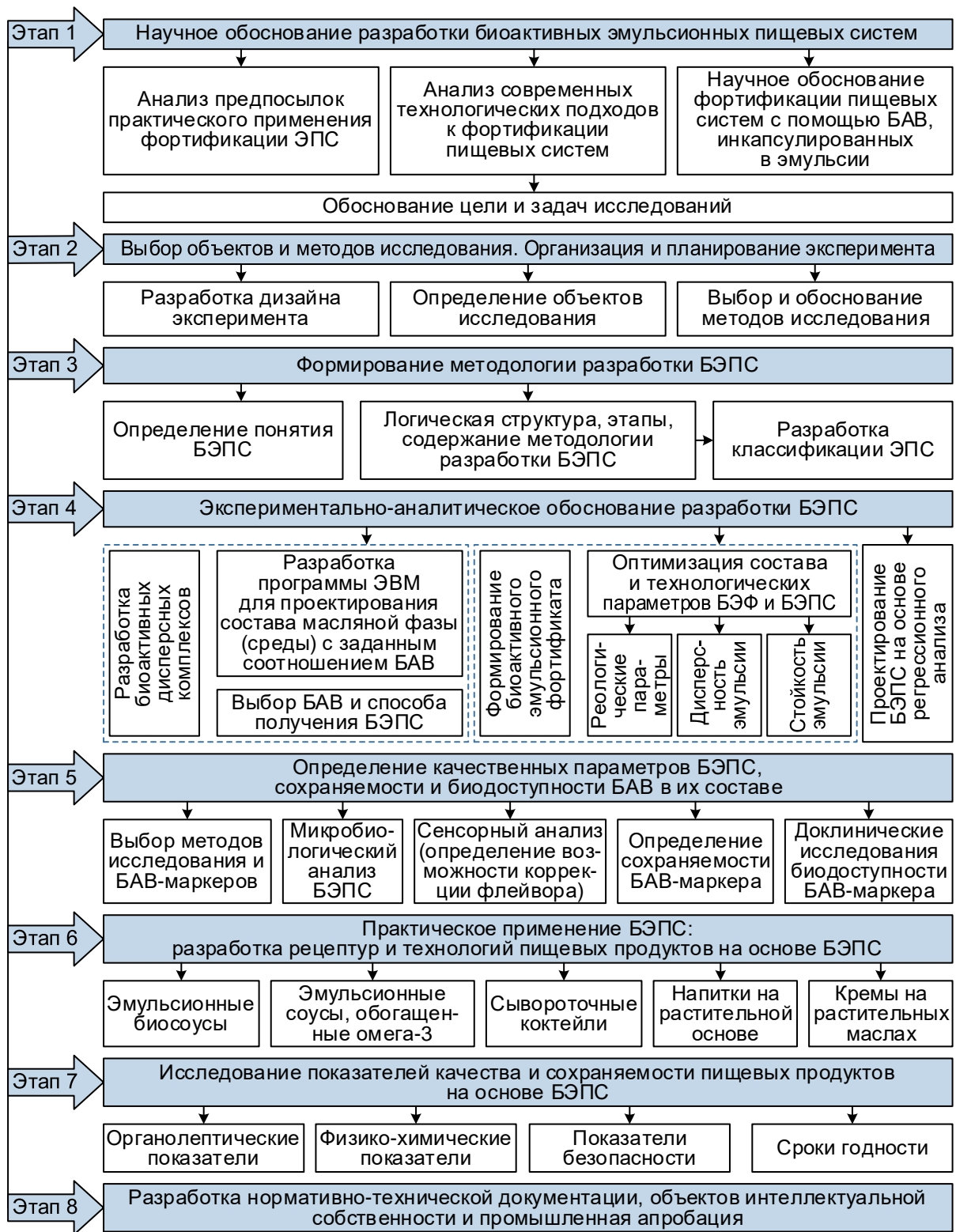


Рисунок 5 – Схема эксперимента

На *третьем этапе* сформулирован понятийный аппарат эмульсионных пищевых систем, представлена логическая структура, этапы и содержание методологии разработки БЭПС. С целью определения возможных направлений практиче-

ской реализации разработанной методологии, а также апробации полученных результатов разработана классификация эмульсионных пищевых систем.

На *четвертом этапе* представлено экспериментально-аналитическое обоснование разработки технологии БЭПС, включающее разработку биоактивных дисперсных комплексов (масляной и водной фазы (среды)) и формирование на их основе биоактивного эмульсионного фортификата; определение пищевой системы для фортификации биоактивных дисперсных комплексов с учетом факторов, влияющих на ее формирование и способа диспергирования фортификата. Определены оптимальные технологические параметры получения БЭПС, дана их качественная характеристика с этой целью изучены морфология, дисперсность и реологические свойства.

Пятый этап посвящен проектированию БЭПС на основе анализа качественных параметров: органолептического профиля, устойчивости к окислению, микробиологических показателей. Установлены сроки годности БЭПС с использованием метода ASLT. На основе полного факторного эксперимента построены регрессионные модели, позволяющие осуществлять прогноз качественных характеристик и срока годности БЭПС

На *шестом этапе* определены сохраняемость и биодоступность БАВ в составе БЭПС в доклинических исследованиях на лабораторных животных.

На *седьмом этапе* разработаны рецептуры эмульсионных пищевых продуктов – эмульсионного биосоуса, эмульсионного соуса, обогащенный омега-3 жирными кислотами, сывороточного коктейля с витаминами, крема на растительных маслах, напиток на растительной основе.

Исследованы органолептические, физико-химические, микробиологические показатели качества. Установлены режимы, условия и сроки хранения, регламентируемые показатели качества новых видов эмульсионных пищевых продуктов.

На завершающем этапе разработана техническая документация на новую продукцию. Проведена промышленная апробация полученных результатов.

2.2 Характеристика объектов и методов исследования

В ходе проведения научных исследований согласно этапам, обозначенным в параграфе 2.1, в рамках реализации научной концепции использовались общепринятые стандартные и специальные методы исследований (теоретические, расчетный, органолептические, физико-химические, реологические, статистические, микробиологические), оборудование и компьютерные программы. Для обеспечения точности результатов исследования проводились в 3–5-кратной повторности, в одинаковых условиях, для систематизации использовались базовые возможности языка статистической обработки данных R и среды разработки RStudio, а также другие методы статистической обработки данных на основе применения таких программных продуктов, как Microsoft Excel, SNEDECOR, IBM SPSS Statistics, SIAMS Photolab, Statistica 10.

Результаты представляли как среднее значение \pm стандартное отклонение. Достоверность различий p средних величин, удовлетворяющих условиям нормального распределения и равенству дисперсий, оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), для сравнения средних значений ($p < 0,05$) применяли тест Тьюки, для определения силы влияния независимой переменной – метод Снедекора.

Объектами исследования на разных этапах исследований выступали:

1) растительные масла и жиры:

- масло оливковое рафинированное (Filippo Berio Extra Virgin, Виа Монтрамино, Массароса, Италия);
- масло льняное (ООО «Олеос», Россия),
- масло горчичное коричневое нерафинированное (ООО «ПК «Вкусы здоровья», Россия),
- масло рыжиковое нерафинированное (ООО «Виктория», Россия);
- масло подсолнечное рафинированное дезодорированное (ООО «Диво Алтая», Россия);

- масло виноградной косточки (Monini, Италия);
 - рыбий жир с содержанием эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК) и докозагексаеновой кислоты (ДГК) в количестве 30 % («Экко плюс», Россия);
 - масло МСТ (ДТК фарм, Россия);
- 2) поверхностно-активные вещества:
- смесь глицеридов жирных кислот (ООО «Бережь», Россия);
 - Tween 80 (Polysorbate 80) (ООО «Сибтехнофарм», г. Новосибирск, Россия);
 - соевый лецитин (ООО «Стоинг», г. Санкт-Петербург, Россия);
- 3) биологически активные вещества:
- тиамин (витамин В₁) («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - аскорбиновая кислота (витамин С) («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - витамин В₁₂ (цианкобаламина) 0,1 % («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - витамин А 500000 МЕ («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - витамин Е (токоферола ацетат) 500 000 МЕ («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - витамин D₃ (холекальциферол) 100 000 МЕ («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - карбонат кальция («Едапроф», г. Москва, Россия);
 - пробиотический комплекс (ООО «НПГ Приоритет», г. Екатеринбург, Россия);
- 4) лабораторные образцы БЭПС, прямых и обратных эмульсий;
- 5) лабораторные и промышленные образцы готовых эмульсионных пищевых продуктов (эмульсионный биосоус; эмульсионный соус, обогащенный омега-3 жирными кислотами; крем на растительных маслах; сывороточный коктейль с витаминами; напиток на растительной основе);
- б) лабораторные животные – крысы линии Wistar и их кровь.
- Дополнительно для получения эмульсионных пищевых продуктов использовали:
- сыворотку молочную пастеризованную (ООО «ПО «Белоярская молочная компания», Россия);
 - сахар по ГОСТ 33222-2015 (ООО «Группа Компаний „Русагро“», г. Белгород, Россия);

- ароматизаторы натуральные: манго, маракуйя, персик, клубника, сливки, ванилин (Dohler, Германия);
- соль поваренную пищевую по ГОСТ Р 51574-2018 (ООО «Руссоль», г. Оренбург, Россия);
- натрий двууглекислый по ГОСТ 2156-76 (АО «Башкирская содовая компания», г. Стерлитамак, Россия);
- лимонную кислоту по ГОСТ 3652-69 (АО «Русхимсеть», г. Москва, Россия);
- горчичный порошок (ООО «АлтайКрупа.РФ», г. Барнаул, Алтайский край, Россия);
- сухое соевое молоко («ИП «Владыкин Р.М.», Краснодарский край, Мостовский район, хутор Красный Кут, Россия);
- сухое кокосовое молоко (ООО «Томер», г. Москва, Россия);
- сухое миндальное молоко (ООО «Успех», г. Санкт-Петербург, Россия).

В работе использованы следующие **методы исследований**.

Приготовление БЭФ и БЭПС осуществляли с использованием ультразвукового гомогенизатора мощностью 750 Вт (Sonics, модель VCX 750, Sonics & Materials, Inc., США), оснащенного зондом диаметром 13 мм. Температура регулировалась посредством охлаждающей рубашки.

Анализ жирнокислотного состава ЭПС. Пробоподготовка осуществлялась путем щелочного гидролиза жира с выделением жирных кислот и последующей этерификацией метанолом и получением метиловых эфиров жирных кислот согласно ГОСТ 30418-96 «Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава» с некоторой модификацией. 2 г навески образца масла или ЭПС переносились в плоскодонную колбу и перемешивались с 30 мл гексана при нагревании (85–95 °С) с обратным холодильником. Слой гексана с растворенным жиром отделялся и полностью переносился в круглодонную колбу, соединенную с нижней колбой и роторным испарителем. Растворитель полностью отгонялся при температуре (70 ± 2) °С. Полученная жировая фракция использовалась для приготовления метиловых эфиров жирных кислот.

Из полученной жировой фракции в пробирку отбирали $(0,10 \pm 0,02)$ г и растворяли в $1,9 \text{ см}^3$ гексана. Далее в пробирку с помощью пипетки добавляли $0,1 \text{ см}^3$ раствора метилата натрия в метаноле с молярной концентрацией 2 моль/дм^3 . Пробирку закрывали пробкой. После интенсивного перемешивания в течение 2 минут полученную смесь центрифугировали.

Определение жирнокислотного состава проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором и квадрупольным анализатором GCMS Shimadzu QP2010 SE Ultra. 1 мкл образца масла или ЭПС, предварительно переведенные в газовую фазу, вводили в инжектор хроматографа, а далее, соединяясь с газом-носителем гелием, пропускали через полярную колонку, наполненную полиэтиленгликолем (фаза ПЕГ). Постепенное увеличение температуры колонки происходило по следующей программе: в течение 1 мин поддерживалась $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, далее возрастала до $200 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью изменения $25 \text{ }^\circ\text{C/мин}$, после этого достигала $T = 240 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью изменения $3 \text{ }^\circ\text{C/мин}$ и выходила на плато в течение 18 мин.

Присутствие свободных радикалов регистрировалось в виде сигнала электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с $g = 2,0023$ (рисунок 6) на ЭПР-спектрометре ПС-100Х (Adani, Беларусь) в трехсантиметровом диапазоне длин волн при температурах 293 К . Для регистрации спектров ЭПР были выбраны оптимальные условия мощности СВЧ-излучения и амплитуды модуляции магнитного поля, а именно, частота СВЧ-излучения $9,54 \text{ ГГц}$, ослабление мощности СВЧ-излучения 6 дБ , амплитуда модуляции 1000 Гс . Регистрация спектров ЭПР образцов масла и эмульсий проводилась в специальных 1 мм капиллярах, помещаемых в кварцевую ампулу диаметром 4 мм .

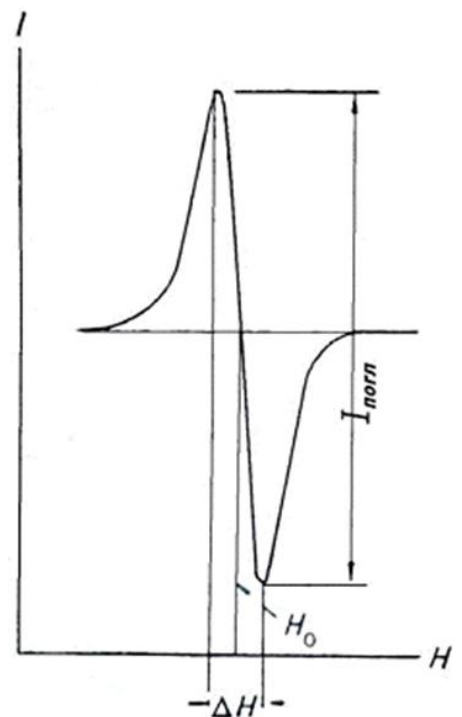


Рисунок 6 – Типичный ЭПР-спектр свободного радикала [19; 20]:
 I – интенсивность ЭПР-сигнала;
 H – напряженность внешнего магнитного поля

Дисперсность БЭПС определяли методом микрофотографирования с применением следующего оборудования: анализатора фрагментов микроструктуры твердых тел. SIAMS 700тм; оптический микроскоп Olympus BX51, цифровая микроскопная видеокамера SIMAGIS 2M, программное обеспечение анализатора SIAMS 700, магнитная мешалка MS2HDT.

Пробоподготовку осуществляли следующими способами:

1) путем нанесения на предметное стекло образца БЭПС в количестве $(0,005 \pm 0,002)$ г, накрывали покровным стеклом, надавливали до равномерного распределения массы между стеклами (пленка массы должна стать прозрачной или полупрозрачной);

2) путем разбавления образца дисперсионной средой в соотношении 1:10. Выбор корректной дисперсионной среды (вода, водная фаза целиком (с сохранением соотношения компонентов), жировой компонент) производили для каждого образца, индивидуально не допуская разрушения эмульсии. Перемешивали с помощью магнитной мешалки на быстрых оборотах в течение 15 мин. Далее осуществляли подготовку образца аналогично способу 1.

Подсчет диаметров капель осуществляли следующим образом.

Визуально определяли степень однородности образца, наличие частиц, явно отличающихся по размеру/цвету/форме, затем проводили измерение диаметра выбранных капель путем помещения подготовленного образца на подложку микроскопа и выбора подходящего окуляра.

Процесс анализа дисперсности осуществляли с помощью SIMAGIS (SIAMS Photolab). Проводили не менее трех параллельных измерений, фотографируя разные зоны приготовленного образца.

Результаты получали путем автоматического подсчета системой диаметров и выдачи статистических данных круглых или близких к круглым микрочастиц, имеющих ясно различимую границу цветоперехода от остального фона, по фотографиям, сделанным под окуляром микроскопа.

Определение стойкости эмульсии. Для оценки стойкости эмульсии пробы образцов центрифугировались с помощью высокоскоростной лабораторной центри-

фуги LC-04A Armed в течение 5 мин со скоростью вращения 1500 об/мин, затем пробирки с образцами помещались в кипящую воду, выдерживались 3 мин и снова подвергались центрифугированию в течение 5 мин со скоростью вращения 1500 об/мин согласно стандартной методике (ГОСТ Р 53590-2009), затем производили оценку разделения фаз и расчет объема неразрушенной эмульсии по формуле

$$X = 10V, \quad (1)$$

где V – объем неразрушенной эмульсии, см^3 ; 10 – объем пробы продукта, см^3 .

Структурно-механические свойства ЭПС оценивали методом ротационной вискозиметрии на вискозиметре Brookfield DV2T с использованием термостатируемой ячейки малых объемов и цилиндрической системы воспринимающих элементов (шпиндели RV/HA/HB-3 и RV/HA/HB-7) в режиме переменной скорости сдвига, в диапазоне скоростей $0,01\text{--}4465,8 \text{ с}^{-1}$, при температуре смеси $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $30 \text{ }^\circ\text{C}$, погрешность измерений составила 5 %.

Органолептический анализ ЭПС проводили с использованием теста парного сравнения по ГОСТ Р 53161-2008. Построение сенсорных профилей проводили в соответствии с ГОСТ ISO 13299–2015 и методикой построения вкусо-ароматических профилей. Сенсорная лаборатория для органолептического анализа соответствовала ГОСТ ISO 8589–2014. Интерпретация понятий соответствовала ГОСТ ISO 5492–2014. Определение органолептических показателей осуществляли в следующей последовательности: цвет, внешний вид, консистенция, запах, вкус.

Перекисное число ЭПС определяли йодометрическим методом по ГОСТ 31762-2012.

Определение содержания микроорганизмов осуществляли в соответствии со стандартными методами, регламентированными действующими нормативными документами: ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов», ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*», ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выяв-

ления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)», ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», МУК 4.2.1847-04 «Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания».

Термостатирование образцов осуществляли с помощью термостата суховоздушного ТВ-80-1. Контрольные образцы хранили при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в холодильнике лабораторном «Позис ХЛ-250». После истечения времени термостатирования образцы доставали из термостата и выдерживали при комнатной температуре до достижения ими температуры $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, но не менее 3 ч. Контрольный образец также доводили до температуры $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение не менее 3 ч.

Срок годности БЭПС рассчитывали исходя из времени хранения при повышенных температурах с учетом уравнения Аррениуса, согласно которому при повышении температуры на каждые 10°C скорость химических реакций – окисления, разложения и т. п., приводящих к порче БЭПС, повышается в 2–4 раза.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}; \quad k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где k – константа равновесия; A – преэкспотенциальный фактор; E_a – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

Содержание витаминов определяли методом ВЭЖХ с помощью хроматографа Agilent 1260 Infinity II согласно ОФС.1.2.3.0017.15 «Методы количественного определения витаминов в обращенно-фазовом ион-парном варианте в изократическом режиме со спектрофлуориметрическим детектированием». Массовую концентрацию витаминов определяли по площади (высоте) пика при соответствующих длинах волн флуориметрического детектирования после введения в хроматографическую систему анализируемых проб и градуировочных растворов.

Коэффициент удержания витаминов K_y определяли отношением концентрации витамина при заданном времени хранения (C_1) к исходной концентрации витамина (C_0).

Определение биодоступности витамина B_{12} (цианкобаламина).

В качестве тест-объекта использовались белые лабораторные крысы-самцы линии Wistar. Животные содержались в помещении с контролируемыми условиями микроклимата, средняя температура за день не выходила за пределы нормы (16–22 °С и относительной влажности воздуха 40–70 %), поддерживался 12-часовой цикл освещения.

Условия содержания лабораторных животных соответствовали следующим нормативным документам:

– ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур»;

– ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами»;

– РД-АПК 3.10.07.02-09 «Рекомендательные документы. Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений»;

– Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 г.) [27].

Исследования проводили на животных массой $350 \text{ г} \pm 10 \%$, возраста 10–11 недель. Проведены мероприятия по карантину животных в течение 14 дней с тщательным осмотром ветеринарного врача на наличие отклонений по нормальному физиологическому развитию животных и диагностикой заболеваний кожи при помощи лампы Вуду на наличие паразитов. После проведения карантинных мероприятий животные рассаживались в клетки по три крысы (период адаптации 5 дней). Каждой группе животных присваивалась групповая метка. Осуществлены ежедневные мероприятия по кормлению животных с соблюдением питьевого режима. Еженедельно проводился мониторинг динамики массы тела животных. Еже-

дневно проводилась уборка помещений с применением дезинфицирующих средств.

Крысы имели беспрепятственный доступ к корму и воде. Смена подстилки в клетках проводилась не реже 2 раз в неделю. Замена питьевой воды в бутылках осуществлялась ежедневно.

Сбор цельной крови осуществлялся путем декапитации в пробирки с крышечкой для определения содержания витамина В₁₂.

Показатели общего анализа крови были получены на гематологическом анализаторе MicroCC-20Plus (Veterinary). Клетки ретикулоцитов в мазках крови были посчитаны на микроскопе Zeiss.

Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с использованием рангового критерия Манна – Уитни.

Сенсорный анализ пищевых продуктов на основе БЭПС проводили в следующей последовательности: консистенция, внешний вид, цвет, запах, вкус в соответствии с ГОСТ ISO 5492-2014 «Органолептический анализ. Словарь», ГОСТ 31755-2012 «Соусы на основе растительных масел. Общие технические условия», ГОСТ 31761-2012 «Майонезы и соусы майонезные. Общие технические условия», ГОСТ Р 70650-2023 «Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия», ГОСТ 33957-2016 «Сыворотка молочная и напитки на ее основе. Правила приемки, отбор проб и методы контроля». Перед анализом пробы доводили до температуры (20 ± 2) °С. Результаты обрабатывали и представляли в виде профилограмм перечисленных показателей.

Определение кислотности соусов осуществляли титриметрическим методом согласно ГОСТ 31761-2012 «Майонезы и соусы майонезные. Общие технические условия».

Содержание молочнокислых микроорганизмов в эмульсионных биосоусах определяли согласно ГОСТ 104444.11-89 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов».

Определение количества бифидобактерий в эмульсионных биосоусах проводили согласно методическим указаниям МУК 4.2.999-00 «Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Определение количества бифидобактерий в кисломолочных продуктах». Метод основан на высеве определенного количества продукта и (или) его разведений в жидкие или агаризованные селективные питательные среды, культивировании посевов при оптимальных условиях и, при необходимости, определении морфологических и биохимических свойств обнаруженных микроорганизмов и их подсчете.

3 Методология разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

С целью осуществления научной деятельности в виде воспроизводящих процессов необходимо ее упорядочение на основе различных способов, приемов, методов, технологий, алгоритмов и процедур – методологии.

В традиционном трактовании методология представляет собой учение о структуре, логической организации, методах и средствах человеческой деятельности по достижению определенной цели [116].

Однако, терминологический анализ показывает, что в зависимости от целей исследования понятие «методология» может трактоваться как:

– учение о научном методе или методах отдельных наук – теоретическая методология;

– совокупность исследовательских процедур, техники и методов, включая приемы сбора и обработки данных – практическая методология [68; 69; 144].

Методология в отрасли технических наук рассматривает в качестве предмета исследований методы получения, обоснования, изложения и проверки знания: построение теоретических и материальных моделей будущих образцов и технологии пищевых систем; проектирование пищевых систем; лабораторные испытания сохранности, эффективности и пр.; экономическая калькуляция окупаемости, прибыльности, конкурентных преимуществ; социологические исследования востребованности и приемлемости в части удовлетворения потребностей потребителей и т. д.

Комплексный характер данной методологии отражает сложную структуру, включающую совокупность естественно-научного, математического, социально-экономического и модельно-проективного знаний [48; 60].

При создании пищевых систем необходимо придерживаться оригинальной методологии, состоящей из методов, сформированной по определенным принци-

пам, правилам, заданным исследователем, и учитывающей особенности разрабатываемой пищевой системы.

В основе диссертационного исследования автором использована практическая методология, представляющая собой программу (алгоритм), набор приёмов и способов достижения поставленной практической цели и ориентированная на решение практических задач, обозначенных во введении к настоящей работе.

3.1 Понятие эмульсионных пищевых систем

На этапе, предваряющем разработку методологии, для обозначения результата разрабатываемого технического решения автор предлагает расширить терминологию за счет введения в научный оборот нового понятия «биоактивные эмульсионные пищевые системы».

Поскольку любой термин нуждается в определении – описании, объяснении, необходимо логически обосновать его значение, основываясь на определениях терминов, составляющих его основу.

Ключевым термином в вышеуказанном понятии является «система». В зависимости от контекста, области знаний и цели исследования в настоящее время применяется как минимум несколько десятков различных определений данного термина. Обобщая данные определения применительно к области научных исследований, находящихся в рамках паспорта научной специальности 4.3.3, из них можно выделить следующее, основанное в большей степени на определениях Л. фон Бергаланфи [13] и ГОСТ Р ИСО МЭК 15288-2005: система – комплекс (комбинация, совокупность) взаимосвязанных компонентов (элементов), обладающих свойствами, отличными от свойств компонентов (элементов), образующих этот комплекс.

В профессиональной литературе понятие «пищевая система» не имеет общепризнанного определения.

Исходя из вышеуказанного определения следует объяснение понятия пищевая система, заключающееся в комплексе взаимодействующих пищевых компонентов. Назначение пищевых систем состоит в обеспечении организма человека пищевыми веществами (нутриентами) и энергией.

В связи с тем, что под эмульсией понимается дисперсная система, состоящая из микроскопических капель жидкости – дисперсной фазы, распределенных в другой жидкости – дисперсионной среде), которая может быть образована двумя любыми несмешивающимися жидкостями [63], понятие «эмульсионные пищевые системы» можно определить как комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

Для уточнения термина «биоактивный» рассмотрим понятия «биологическая активность» и «биологически активные вещества» (в связи с тем, что биоактивность ЭПС формируется за счет БАВ).

Биологическая активность – это особая способность или свойство препарата оказывать определенный биологический эффект. Количественной мерой биологической активности является активность [106].

Биологически активные вещества – группа веществ, имеющих выраженную физиологическую активность (ГОСТ Р 57079-2016). Физиологическая активность в данном случае рассматривается с точки зрения поддержания нормальной жизнедеятельности человеческого организма.

Исходя из определения понятия «комплекс», которое трактуется как система, совокупность чего-либо, объединенного вместе, имеющего общее предназначение и отвечающего какой-либо определенной общей цели, определим понятия «биоактивный комплекс» и «биоактивный дисперсный комплекс».

Биоактивный комплекс – совокупность пищевых компонентов, в том числе биологически активных веществ, предназначенных для фортификации пищевых систем.

Биоактивный дисперсный комплекс – совокупность пищевых компонентов, в том числе биологически активных веществ, представляющая собой дисперсную систему и предназначенная для фортификации пищевых систем.

Исходя из того, что биологическая активность разрабатываемых БЭПС формируется путем фортификации их биоактивным комплексом (понятие фортификации было подробно рассмотрено в параграфе 1.2), понятие биоактивных эмульсионных пищевых систем можно определить следующим образом:

– биоактивные эмульсионные пищевые системы (БЭПС) – совокупность взаимосвязанных пищевых компонентов, состоящая из двух несмешивающихся жидкостей, дополнительно обогащенная биологически активными веществами в составе биоактивного комплекса до уровня, превышающего их естественное содержание в них.

Сокращенный вариант данного определения представим следующим образом: биоактивные эмульсионные пищевые системы (БЭПС) – эмульсионные пищевые системы, дополнительно обогащенные биологически активными веществами в составе биоактивного комплекса до уровня, превышающего их естественное содержание в них.

3.2 Проблемно-целевая модель фортификации эмульсионных пищевых систем

Как известно, любая деятельность носит целенаправленный характер. Кроме того, в рамках любого вида деятельности возникает необходимость разрешения некоторых противоречий – проблем. Инструментом для их преодоления могут выступать системные исследования, позволяющие выработать определенный алгоритм согласно поставленной цели, отражающей специфику проблемы и процесс поиска и выбора ее решения.

В параграфе 1.1 в рамках анализа предпосылок для фортификации пищевых систем изложена актуальность проблемы, на решение которой направлены проводимые исследования, которая обусловлена необходимостью обеспечения населения доступным здоровым питанием для поддержания здоровья и снижения риска заболеваний разной этиологии, являющихся основной причиной заболеваемости и смертности. Для решения указанной проблемы особую значимость приобретают направления деятельности по разработке новых технологических решений, обеспечивающих высокоэффективную доставку БАВ и их высокую биодоступность.

Системно-структурное представление актуальности решаемой проблемы представлено на рисунке 7.

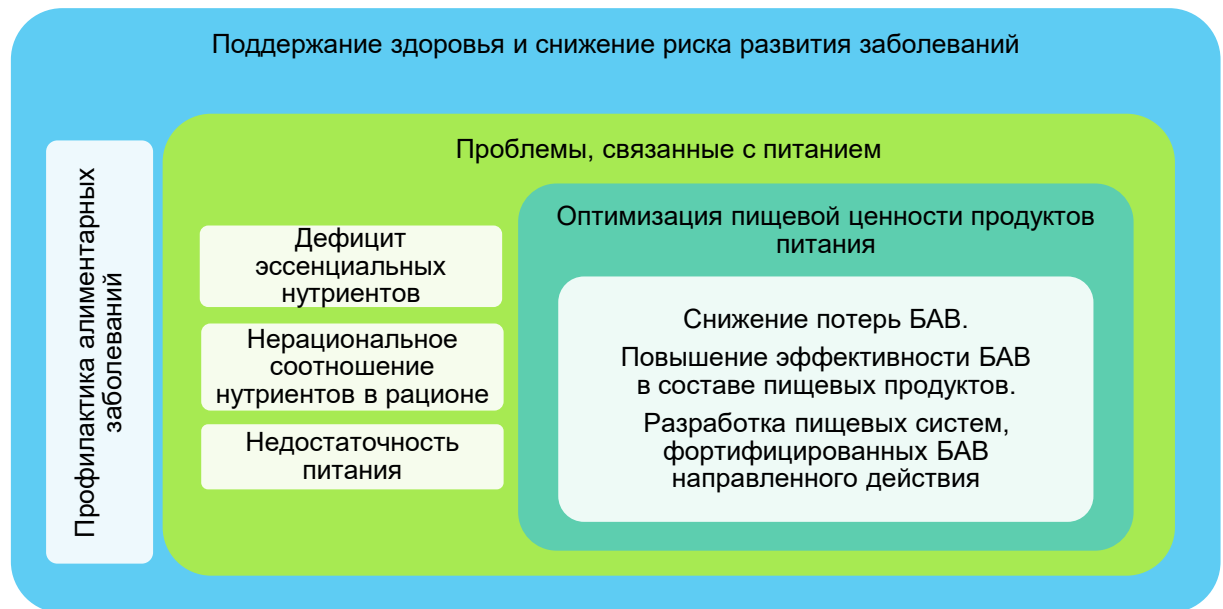


Рисунок 7 – Системно-структурное представление актуальности решаемой проблемы

На рисунке 8 показаны зависимость причины, следствия и решения рассматриваемой проблемы.

Для решения данной проблемы необходим комплекс научных методов, которые охватывают существенные стороны, обусловившие ее возникновение. На рисунке 9 представлена взаимосвязь предпосылок возникновения изучаемой проблемы с комплексом предлагаемых методов для ее решения.



Рисунок 8 – Функциональная взаимосвязь проблемы

В качестве цели определено обеспечение необходимого поступления эссенциальных нутриентов для поддержания здоровья населения (см. рисунок 9).

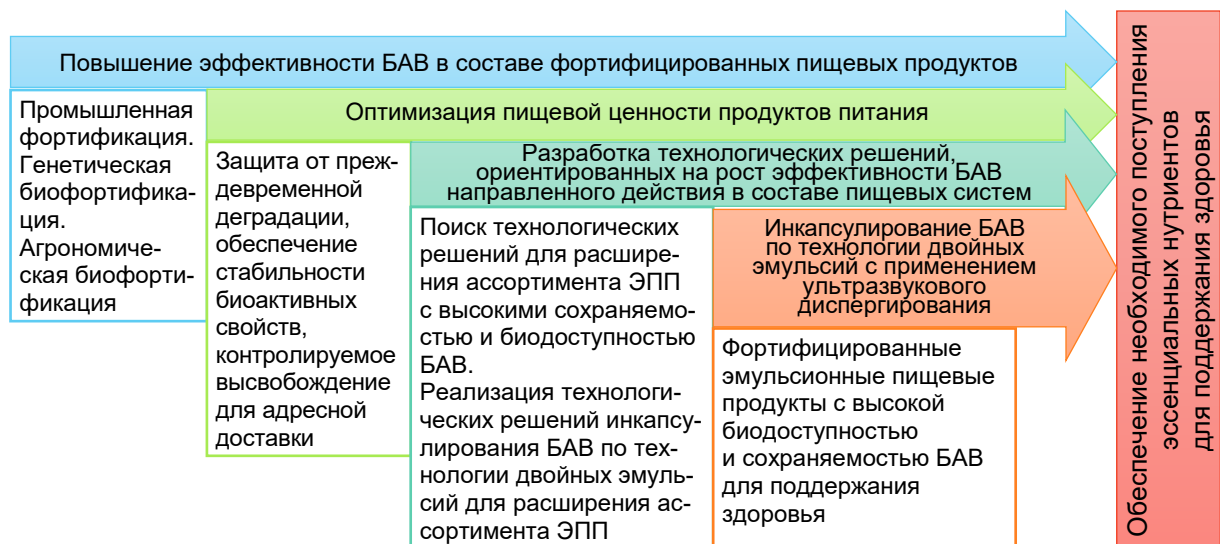


Рисунок 9 – Научно-практическое обоснование необходимости фортификации эмульсионных пищевых систем

Решение проблемы поддержания здоровья и снижения риска развития алиментарных заболеваний имеет следующие альтернативные варианты: применение

БАД и употребление продуктов питания с оптимизированной пищевой ценностью. Регулярное системное применение БАД характерно для ограниченного круга потребителей, в связи с этим данный вариант решения проблемы не способен обеспечить в полном объеме профилактику алиментарных заболеваний. Тогда как употребление пищевых продуктов массового спроса, оптимизированных по пищевой ценности, способно решить обозначенную проблему для широкого круга потребителей.

Оптимизация пищевой ценности продуктов питания осуществляется различными способами, одним из которых является промышленная фортификация БАВ. Сущность и преимущества промышленной фортификации подробно рассмотрены в первой главе работы.

Одной из задач для достижения поставленной цели является повышение эффективности БАВ в состав фортифицированных пищевых продуктов, предполагающее следующие способы ее выполнения: защита от преждевременной дегградации, обеспечение стабильности биоактивных свойств, обеспечение контролируемого высвобождения для адресной доставки.

Указанные выше способы могут быть реализованы с помощью разработки технологических решений, направленных на рост эффективности БАВ направленного действия в составе пищевых систем.

Одним из таких технологических решений является фортификация пищевых продуктов с высокой сохраняемостью и биодоступностью БАВ, предполагающая обеспечение защиты БАВ от преждевременной дегградации. Стабильность биоактивных свойств и контролируемое высвобождение для адресной доставки в комплексе будут способствовать повышению эффективности их действия.

Для обеспечения стабильности биоактивных свойств предлагается технологическое решение по инкапсулированию БАВ по технологии двойных эмульсий.

Эмульсионные технологии применяются в пищевой промышленности для создания широкого ассортимента эмульсионных пищевых продуктов – напитки, молоко, сливки, соусы, десерты, маргарин, сливочное масло и др., которые употребляются всеми группами населения. Они являются одними из наиболее эффективных пищевых матриц за счет возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств, вариативности использования в качестве носителя полезности.

На основе комплекса методов, сформированного с учетом предпосылок, обусловивших возникновение обозначенной проблемы, разработана оригинальная методология, учитывающая особенности разрабатываемой пищевой системы.

3.3 Содержание и технология реализации методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

Методология разработки БЭПС основана на системе базисных принципов и способов организации исследования, совокупности применяемых наиболее общих методов, объединенных общей целью и направлением исследований (рисунок 10).



Рисунок 10 – Логическая структура методологии разработки БЭПС

Содержание методологии разработки БЭПС представлено на рисунке 11.

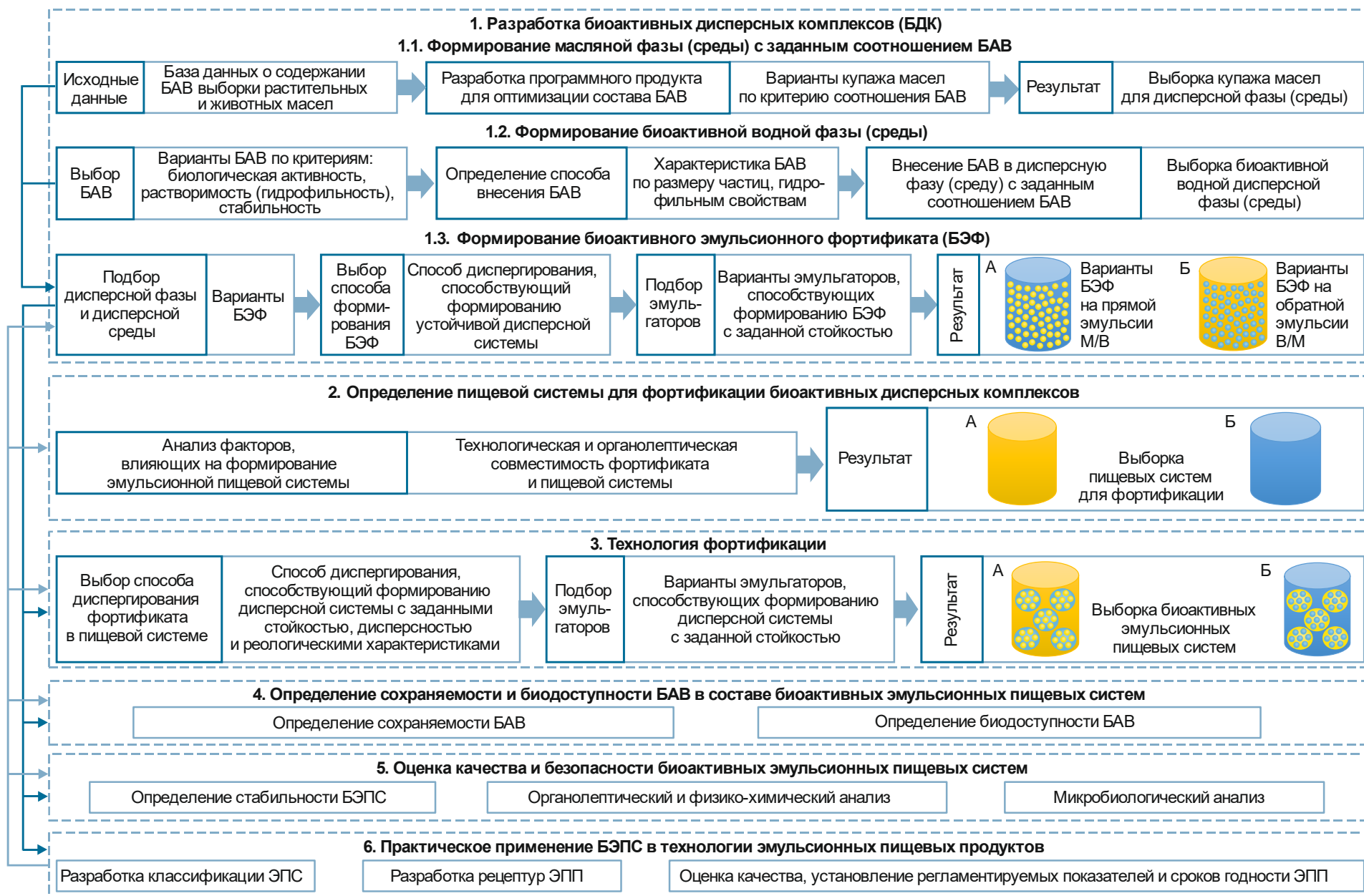


Рисунок 11 – Содержание методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

Производство БЭПС основано на технологиях инкапсулирования и ультразвуковой кавитации, способствующих сохранности БАВ и повышению их биодоступности.

Начальным этапом методологии является разработка биоактивных дисперсных комплексов, который включает формирование биоактивной масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ, формирование биоактивной водной фазы и формирование биоактивного эмульсионного фортификата (БЭФ).

Важным элементом технологии является разработка биоактивных дисперсных комплексов – биоактивных эмульсионных фортификатов, представляющих собой прямые либо обратные эмульсии, содержащие во внутренней масляной либо водной фазе липофильные либо гидрофильные БАВ. Этап разработки БЭФ включает в себя помимо разработки БЭФ предварительное формирование масляной и водной фазы (среды).

Формирование масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ (ПНЖК групп омега) осуществляется с помощью программы ЭВМ исходя из базы данных на основе выборки растительных и животных масел и содержания ПНЖК в маслах путем создания купажей определенного состава [99]. Основным критерием для составления базы данных является количество и соотношение триглицеридов, в том числе жирных кислот в составе масел. Помимо оптимизации по жирнокислотному составу, на данном этапе масляная фаза (среда) может быть дополнительно фортифицирована другими липофильными БАВ.

Конечным результатом будет выступать выборка купажей масел с заданным соотношением БАВ. Данные купажи могут одновременно выступать в качестве масляной фазы или масляной среды в биоактивных эмульсионных пищевых системах.

Для формирования биоактивной водной фазы (среды) осуществляется подбор БАВ и способ их внесения исходя из таких критериев, как биологическая активность, растворимость (гидрофильность) и стабильность. Водная фаза может выступать в качестве дисперсной среды в зависимости от типа эмульсионного фортификата. На основе анализа характеристик БАВ по размеру частиц, гидрофильным свойствам определяется способ внесения БАВ в водную фазу (среду). После внесе-

ния БАВ в водную фазу (среду) формируется выборка биоактивной водной дисперсной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ.

Далее на основе масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ и биоактивной водной фазы (среды) происходит формирование биоактивного эмульсионного фортификата (БЭФ) – биоактивного дисперсного комплекса, для обогащения эмульсионных пищевых систем. В качестве БЭФ выступают либо прямая, либо обратная эмульсии. Экспериментально определяются способ и технические параметры диспергирования, соотношения масляной и водной фазы, необходимость применения, варианты и количество эмульгаторов, способствующих формированию устойчивой дисперсной системы. В результате реализации данного этапа формируются две группы БЭФ: 1) варианты БЭФ на основе прямой эмульсии; 2) варианты БЭФ на основе обратной эмульсии.

На втором этапе на основе анализа факторов, влияющих на формирование эмульсионной пищевой системы (технологической и органолептической совместности, механизма взаимодействия эмульсионной пищевой системы и фортификата) формируется выборка пищевых систем для фортификации биоактивными дисперсными комплексами. На этапе разработки БЭПС такими системами являются масляная среда и водная среда. В случае получения неудовлетворительных результатов возникает необходимость повторения завершающей стадии I этапа – формирования вариантов БЭФ.

На третьем этапе разрабатывается и апробируется технология фортификации. При выборе оптимальной технологии фортификации исходят из анализа преимуществ и недостатков существующих способов диспергирования, способствующих формированию дисперсной системы с заданными стойкостью, дисперсностью и реологическими характеристиками, рассматривают возможность использования эмульгаторов для формирования данных характеристик. В результате формируется выборка биоактивных дисперсионных систем оптимизированного состава. Данная выборка является основой при разработке рецептур биоактивных эмульсионных пищевых систем. В случае получения неудовлетворительных результатов возникает необходимость повторения завершающей стадии I этапа – формирования вариантов

БЭФ и II этапа – определения пищевой системы для фортификации биоактивных дисперсных комплексов.

С целью подтверждения эффективности технологии фортификации на следующем этапе осуществляется оценка сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС.

В случае получения неудовлетворительных результатов возникает необходимость внесения корректировок на завершающей стадии I этапа – формирования вариантов БЭФ и II этапа – определения пищевой системы для фортификации биоактивных дисперсных комплексов.

С целью подтверждения гипотезы обеспечения биодоступности БАВ и нивелирования специфических органолептических характеристик некоторых БАВ, установления сроков годности осуществляется оценка качества и безопасности БЭПС, в том числе их стабильности [222].

В случае получения неудовлетворительных результатов на данном этапе возникает необходимость внесения корректировок на завершающей стадии I этапа – формирования вариантов БЭФ, II этапа – определения пищевой системы для фортификации биоактивных дисперсных комплексов и III этапа – технология фортификации.

Результатом разработанной методологии является практическое применение БЭПС в качестве основы для различных эмульсионных пищевых продуктов.

С целью определения возможных направлений практической реализации разработанной методологии, а также апробации полученных результатов возникает необходимость в систематизации эмульсионных пищевых систем. В качестве инструмента в данном случае выступает классификация на основе современных подходов к формированию ассортимента [1; 34; 76].

Формирование ассортимента эмульсионных пищевых продуктов на основе БЭПС предполагает составление перечня основных и вспомогательных ингредиентов и отработка необходимого их соотношения на основе оценки качества по органолептическим и физико-химическим показателям, формирование потребительских характеристик, в том числе органлептического профиля; оценку качества раз-

работанных ЭПП, установление регламентируемых показателей и сроков годности с последующей разработкой нормативно-технических документов и апробацией в промышленных условиях.

В случае получения неудовлетворительных результатов на данном этапе возникает необходимость внесения корректировок на предыдущих этапах.

Этапы реализации технологических решений методологии представлены в последующих главах работы.

Классификация эмульсионных пищевых систем

Для достижения целей систематизации была составлена комплексная товароведно-технологическая классификация эмульсионных пищевых систем на основе выделения основополагающих классификационных признаков путем определения множества и его элементов.

В основе классификации был использован комбинированный метод, основанный на сочетании иерархического метода и совокупности нескольких независимых классификаций, осуществляемых одновременно по различным признакам, т. е. фасетного метода. В качестве основополагающих признаков классификации определены концентрация дисперсной фазы, полярность дисперсной фазы и дисперсионной среды и агрегативная устойчивость.

Согласно первой фасете в зависимости от полярности дисперсной фазы эмульсионные пищевые системы классифицируются на эмульсии первого рода или прямые эмульсии – неполярная или слабополярная жидкости распределены в полярной среде (например, эмульсия масла в воде), эмульсии второго рода или обратные эмульсии – полярная жидкость распределена в неполярной среде (например, эмульсия вода в масле), множественные (двойные) эмульсии (вода в масле в воде) и множественные (двойные) эмульсии (масло в воде в масле), представляющие собой комбинацию эмульсий I и II типа [28]. На рисунке 12 представлены группы и виды пищевых продуктов, характерные для каждой из перечисленных классификационных группировок.

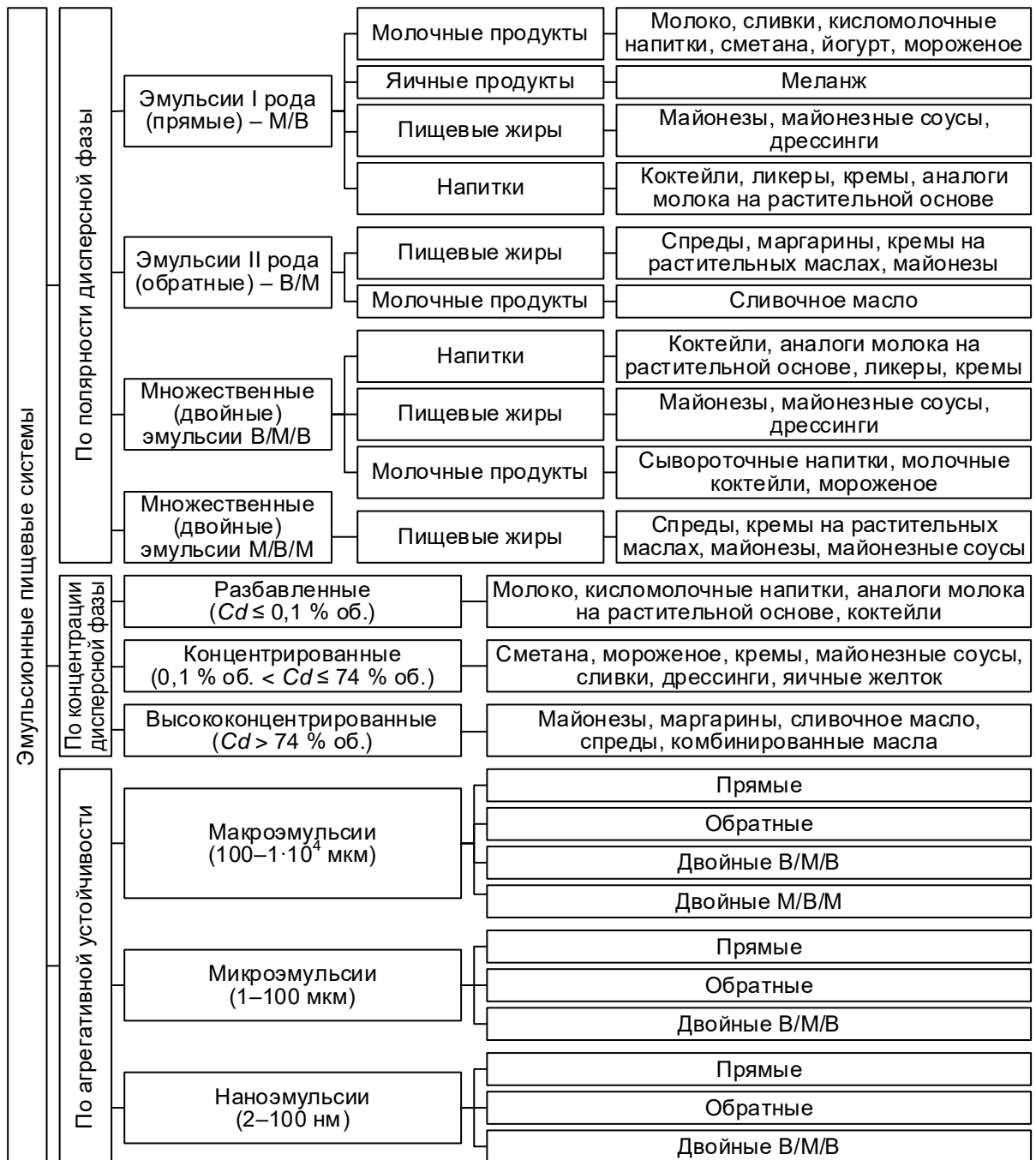


Рисунок 12 – Классификация эмульсионных пищевых систем

Согласно второй фасете в зависимости от концентрации дисперсной фазы эмульсионные пищевые системы классифицируются на разбавленные, концентрированные и высококонцентрированные (желатинированные).

К разбавленным относятся эмульсионные пищевые системы с содержанием дисперсной фазы в количестве до 0,1 % к объему (молоко, кисломолочные напитки, аналоги молока на растительной основе, коктейли). Данные эмульсии характеризуются высокой дисперсностью (размер частиц не превышает 100–300 нм). Частицы

разбавленных эмульсий обнаруживают электрофоретическую подвижность, т. е. несут электрический заряд, что повышает их агрегативную устойчивость. Разбавленные эмульсии характеризуются своей устойчивостью в отсутствие специального эмульгатора (стабилизатора). В связи с низкой концентрацией вероятность столкновения капель дисперсной фазы невелика.

К концентрированным относятся эмульсионные пищевые системы с содержанием дисперсной фазы от 0,1 % до 74 %. Данные эмульсии легко седиментируют – слияние капель происходит с большей скоростью, и эмульсия за короткий промежуток времени разделяется на два слоя. Получение устойчивых концентрированных эмульсий возможно только в присутствии специальных эмульгаторов, а их агрегативная устойчивость зависит от природы эмульгатора (сметана, мороженое, кремы, майонезные соусы, сливки, дрессинги, яичный желток).

Такая концентрация является максимальной для данных эмульсий в связи с тем, что она в случае монодисперсной эмульсии соответствует максимально возможному объемному содержанию недеформированных сферических капель независимо от их размера. Так как концентрированные эмульсии получают обычно методом диспергирования, то размер их капель относительно велик и составляет 0,1–1 мкм и больше.

К высококонцентрированным эмульсионные пищевые системы относятся дисперсионные системы с содержанием дисперсной фазы выше 74 %. Вследствие плотной упаковки и взаимного деформирования капель данные эмульсии приобретают форму многогранников (полиэдров), разделенных тонкими пленками – прослойками дисперсионной среды, они не способны к седиментации и обладают механическими свойствами, сходными со свойствами гелей (майонезы, маргарины, сливочное масло, спреды комбинированные масла), поэтому их иногда называют желатинированными [28].

Согласно третьей фасете в зависимости от агрегативной устойчивости эмульсионные пищевые системы классифицируются на макроэмульсии, микроэмульсии и наноэмульсии.

Макроэмульсии – это системы с размером частиц от 100 до $1 \cdot 10^4$ мкм, характеризующиеся тенденцией к разрушению через некоторое время. Они являются оптически мутными или непрозрачными, поскольку содержащиеся в них капли имеют размеры, аналогичные длине волны света, и поэтому сильно рассеивают свет.

Микроэмульсии представляют собой высокодисперсные, термодинамически стабильные системы с размером частиц 1–100 мкм. Как правило, они являются прозрачными жидкостями, которые не коагулируют и не коалесцируют. При изменении условий микроэмульсия может преобразоваться в другой тип системы. Однако, при приведении системы в исходное состояние, она должна вернуться в микроэмульсию со скоростью, зависящей от барьеров кинетической энергии.

Наноэмульсии (ультрадисперсные эмульсии) представляют собой термодинамически нестабильные дисперсные системы (для их получения необходимо поступление энергии в систему) со средним размером частиц от 2 до 100 нм [51].

Различные виды пищевых продуктов могут быть получены в форме макро-, микро- и наноэмульсий, в том числе на основе прямой, обратной или двойной эмульсий (М/В/М или В/М/В) [126].

Выводы по главе 3

В ходе проведения исследований сформулирован понятийный аппарат в области эмульсионных пищевых системы. На основе результатов терминологического анализа ключевых терминов в составе понятия «биоактивные эмульсионные пищевые системы» логически обосновано его значение, в том числе предложены трактовки понятий «пищевые системы», «эмульсионные пищевые системы» применительно к области настоящих научных исследований.

С использованием системных исследований в качестве инструмента дано системно-структурное представление актуальности решаемой проблемы обеспечения

населения доступным здоровым питанием для поддержания здоровья и снижения риска заболеваний разной этиологии; показана функциональная взаимосвязь решаемой проблемы; представлено научно-практическое обоснование необходимости фортификации эмульсионных пищевых систем.

Исходя из обоснования значимости фортификации пищевых систем биологически активными веществами, анализа эффективных способов их доставки определена логическая структура и способы организации исследования, совокупность применяемых наиболее общих методов, объединенных общей целью и направлением исследований, а также содержание и структура новой методологии разработки БЭПС с целью получения фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

Обобщены признаки, влияющие на формирование классификационных группировок, являющиеся основой для классификации эмульсионных пищевых систем. Предложена комплексная товароведно-технологическая классификация эмульсионных пищевых систем, учитывающая технологические особенности их производства, в том числе современные технологические процессы, необходимая для определения направлений практической реализации разработанной методологии в производстве фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов, а также апробации полученных результатов.

4 Экспериментально-аналитическое обоснование разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем

В процессе реализации методологического подхода к разработке БЭПС на практике, в ходе дальнейших исследований определены оптимальные технологические решения, предусматривающие использование инкапсулирования и ультразвуковой кавитации для обеспечения сохраняемости БАВ и повышения их биодоступности в составе БЭПС.

4.1 Разработка биоактивных дисперсных комплексов

4.1.1 Формирование масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ

В связи с тем, что в достижении функционального эффекта для организма, получаемого вследствие употребления ПНЖК омега-групп, большое значение имеет соблюдение норм их употребления, а также рекомендуемого соотношения ω -6 и ω -3 5–10:1 [77], для формирования масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ целесообразно использовать купажи различных пищевых масел с оптимальным соотношением омега-6 (ω -6) и омега-3 (ω -3) ПНЖК.

С этой целью была разработана компьютерная программа проектирования оптимального соотношения ПНЖК жировой основы, предназначенная для формирования масляной фазы (среды) эмульсионных пищевых систем с заданным соотношением БАВ [99].

Программа позволяет оперативно формировать оптимизированные составы пищевых систем на основе комбинирования имеющегося сырья, при этом возможно задать любое количество видов масел и количество свойств (характеристик) пищевой системы. Под оптимизацией понимается комбинирование масел исходя из соотношения ω -6 и ω -3 жирных кислот на 100 г исходного масла.

Программа включает базу данных по содержанию ω -6 и ω -3 жирных кислот в различных маслах, которая может быть расширена как в сторону количества используемых масел, так и в сторону показателей, по которым ведется оптимизация.

Программный модуль содержит целевую функцию, регистр выбора сырья, изменяемые параметры, а также блок проверки полученных результатов.

В качестве целевой функции выступает соотношение ω -6 и ω -3 ПНЖК в оптимизированной рецептуре:

$$F(x) \rightarrow \frac{\sum \omega-3}{\sum \omega-6}. \quad (3)$$

Результат целевой функции задается оператором в виде любого действительного значения. В качестве расширения функциональных возможностей программы могут быть добавлены и другие параметры (в том числе комплексные или интегральные показатели).

Регистр выбора сырья определяет набор масел, участвующих в составлении оптимизированной рецептуры из базы. На основании регистра формируется матрица основного расчета и проверки результатов.

Изменяемым параметром послужила норма закладки масла в оптимизированную рецептуру (в граммах), которая определяет фактическое содержание ПНЖК:

$$X_{\phi} = \frac{M_n \cdot X}{100}, \quad (4)$$

где M_n – изменяемый параметр нормы закладки масла в оптимизированную рецептуру, г; X – массовая доля ω -6 и ω -3 жирных кислот.

Блок проверки полученных результатов содержит математическую модель расчета рецептуры с определением массовой доли (в процентах) каждого компонента, а также фактического соотношения жирных кислот на 100 г.

Программа составлена на базе Microsoft Excel с применением интегрированного языка Visual Basic for Application. Решение задачи осуществляется методом обобщенного понижающего градиента со следующими параметрами: точность ограничения – 0,000001, сходимость – 0,0001. Альтернативным является возможность решения задачи симплекс-методом.

Алгоритм работы включает в себя:

- выбор масел, участвующих в решении оптимизационной задачи (минимальное значение – 1, максимальное – количество записей в базе);
- указание исходной нормы закладки (по умолчанию задается 100);
- задание результатов целевой функции.

На основании введенных данных формируется информационная матрица, которая будет участвовать в решении задачи. Матрица включает в себя линейные уравнения расчета рецептуры и массовой доли каждого компонента (на этапе ввода данных все компоненты будут разделены в равных пропорциях). После решения задачи все расчеты повторяются с учетом заданной целевой функции.

В качестве решения задачи возможны следующие варианты: единственное решение найдено, решение отсутствует, существует несколько вариантов решения. В качестве единственного решения может выступать значение закладки одного (или нескольких масел), что в математической модели допустимо, а в технологическом подходе нет. Исключение такой ситуации возможно путем задания дополнительных параметров вида $M_n > 0$, что автоматически переводит алгоритм в раздел «решение отсутствует».

На рисунке 13 представлен один из полученных вариантов решения задачи.

Виды масел	Количество омега-6 жирных кислот, г в 100 г масла	Количество омега-3 жирных кислот, г в 100 г масла	Выбор продукт а	Масса	Факт-6	Факт-3	Прогноз нормы	После оптим.- 6	После оптим.- 3	Доля, %
Оливковое масло	9,76	0,76					0			0
Масло льняного семени	12,7	53,3								0
Рапсовое масло	14,5	9,14					0			0
Горчичное масло	15,3	5,9								0
Арахисовое масло	31,71	0					0			0
Кунжутное масло	41,3	0,3					0			0
Масло грецкого ореха	52,89	10,4					0			0
Кукурузное масло	53,51	1,16					0			0
Масло зародышей пшеницы	54,8	6,9					0			0
Подсолнечное масло	65,7	0	1	100	65,7	0	73	47,961	0	74,5
Масло виноградной косточки	69,59	0,1								0
Конопляное масло	40	15					0			0
Рыбий жир	5	30					0			0
Рыжиковое масло	19,5	37	1	100	19,5	37	25	4,875	9,25	25,5

Рисунок 13 – Матрица данных и результирующее соотношение ω -6 и ω -3 жирных кислот

Из перечня предполагаемых к использованию ингредиентов, включенных в информационную матрицу, оператором выбраны два вида масла: подсолнечное и рыжиковое. Исходная норма закладки по умолчанию задана равной 100.

Сначала программа выводит фактическое содержание ω -6 и ω -3 жирных кислот на 100 г продукта и прогноз нормы. Затем на основании информационной матрицы и решения системы линейных балансовых уравнений с учетом ограничений, а также функции цели по оптимизации соотношения жирных кислот в автоматическом режиме получено положительное решение, определяющее одну рецептуру продукта: 74,5 г подсолнечного и 25,5 г рыжикового масла. Выбор рецептуры в данном случае определяется оптимизацией целевой функции на основе соотношения ω -6 и ω -3 жирных кислот в проектируемом продукте [130; 219].

Возможно дальнейшее расширение информационной матрицы программы показателями для оптимизации рецептуры масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ исходя из суточной потребности в моно- и полиненасыщенных жирных кислотах и органолептических характеристик готового продукта [129].

С использованием разработанного программного продукта была сформирована выборка купажей масел, предназначенных для использования в качестве дисперсной фазы (среды) БЭПС, на основе оптимизации соотношения ω -6 и ω -3 жирных кислот (таблица 3).

Таблица 3 – Выборка купажа масел для дисперсной фазы (среды)

Вид масла	Состав купажа масел, мас.%				
	1	2	3	4	5
Рыжиковое масло	–	15,0	–	–	25,5
Горчичное масло	–	–	15,8	–	–
Льняное масло	11,0	–	–	17,7	–
Подсолнечное масло	76,9	73,0	71,6	64,6	74,5
Масло виноградной косточки	–	–	–	17,7	–
Рыбий жир	12,1	12,0	12,6	–	–

Состав купажей определялся исходя из требований МР 2.3.1.0253-21 с помощью программы ЭВМ так, чтобы соотношение омега-6 и омега-3 составило 6:1.

С целью формирования заданных функциональных свойств и решения задач исследования в купаж масел вносились жирорастворимые витамины А, D, E и среднецепочечные триглицериды – масло МСТ. Характеристика данных БАВ представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика БАВ, используемых в масляной дисперсной фазе (среде)

Наименование БАВ	Растворимость	Стабильность	Биологическая активность
Витамин А (ретинол)	Хорошо растворим в неполярных органических растворителях (в маслах); нерастворим в воде	Разрушается кислородом воздуха, очень чувствителен к свету	Структурный компонент клеточных мембран, обеспечивает антиоксидантную защиту организма [71]
Витамин E (токоферол)	Растворим в растительных маслах; нерастворим в воде	Стабилен при комнатной температуре, медленно окисляется под воздействием кислорода воздуха, неустойчив к окислителям	Универсальный протектор клеточных мембран от окислительного повреждения [71]
Витамин D (кальциферол)	Хорошо растворим во всех органических растворителях: спирте, жирах, растительных маслах; нерастворим в воде	В нейтральной и щелочной среде устойчив к нагреванию; относительно быстро разрушается под влиянием кислорода воздуха, влаги и света	Обеспечение всасывания кальция и фосфора из пищи через стенки тонкого кишечника [74]
МСТ (среднецепочечные триглицериды)	Нерастворимы в воде	Химически стабильны	Усиление окисления жиров, анаболизм белков и ингибирование катаболизма [368; 129]

В связи с тем, что представленные витамины являются жирорастворимыми, а МСТ имеет жировую природу, они являются применимыми для формирования биоактивной масляной фазы (среды) БЭПС.

4.1.2 Формирование биоактивной водной фазы (среды)

Биоактивную водную фазу (среду) формировали в несколько этапов.

На первом этапе производили отбор БАВ по таким критериям как биологическая активность, растворимость в воде и стабильность. В таблице 5 представлена характеристика БАВ.

Таблица 5 – Характеристика БАВ, используемых в водной дисперсной фазе (среде)

Наименование БАВ	Растворимость	Стабильность	Биологическая активность
Витамины группы В	Хорошо растворимы в воде	Термостабильны, не окисляются под действием многих окислителей, в нейтральной и щелочной среде быстро разрушаются при нагревании, устойчивы к действию кислорода воздуха, неустойчивы к свету при нейтральном рН среды	Клеточный метаболизм [337]
Витамин С (аскорбиновая кислота)	Высокая растворимость в воде	Легко окисляется под воздействием различных окислителей	Разностороннее влияние на процессы обмена веществ и функционирование различных органов и систем организма [337]
Пробиотический комплекс	Водный раствор микроорганизмов	Разрушаются под воздействием кислот и высоких температур	Нормализация микробиоценоза [138]

Выбор водорастворимых витаминов С и группы В обусловлен необходимостью их регулярного употребления в связи с отсутствием их накопления в организме и быстрым выведением.

В качестве пробиотического комплекса рассматривается смесь бифидо- и лактобактерий, находящихся в пищевой питательной среде.

Далее определяли способ внесения БАВ исходя из их характеристик. Водорастворимые витамины, представляющие собой кристаллический порошок, в заданном количестве растворяли в воде. Пробиотический комплекс, представляющий собой водный раствор микроорганизмов (микроорганизмы в пищевой питательной среде), использовали непосредственно в исходной форме в качестве водной фазы.

На последнем этапе вносили БАВ в дисперсную фазу (среду) и составляли выборку биоактивной водной дисперсной фазы (среды). Выборка представлена на рисунке 14.

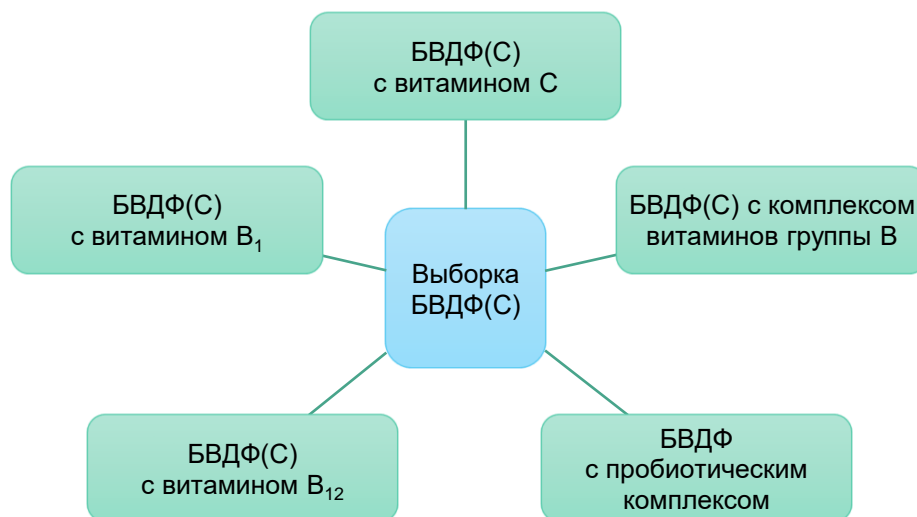


Рисунок 14 – Выборка биоактивной водной дисперсной фазы (среды)

4.2 Формирование биоактивного эмульсионного фортификата

Анализ научной литературы, представленный в первой главе, показал, что одним из наиболее эффективных методов диспергирования является метод ультразвукового диспергирования. При передаче ультразвуковых волн через жидкую среду происходит явление кавитации, представляющее собой образование, рост и схлопывание полостей в жидкой среде, сопровождающиеся созданием локализованной области с высокой температурой (до 5000 К) и давлением (до 1000 бар), что способствует процессу диспергирования. Диспергирование с помощью ультразвуковой кавитации происходит в два этапа. На первом этапе образуются капли в акустическом поле, а на втором за счет создания интенсивной турбулентности и микроструй во время схлопывания асимметричной полости происходит дробление и диспергирование капель в непрерывной фазе [143; 287; 333].

Анализ влияния ультразвукового диспергирования на жирнокислотный состав и образование свободных радикалов масляной фазы (среды)

Формирование капель эмульсии при ультразвуковом воздействии происходит в результате схлопывания кавитационных пузырьков, заполненных газом, и локального высвобождения значительной энергии при мгновенном повышении давления и температуры. При этом происходят разнородные физические процессы, такие как химические реакции, формирование интенсивных микропотоков, ударных волн, появляется ультразвуковое свечение и т. д., которые, одновременно воздействуя на обрабатываемые эмульсии, способствуют интенсивному их перемешиванию и получению однородной и тонкодисперсной эмульсии [146; 256; 352].

Повышение мощности ультразвукового воздействия до определенного предела способствует образованию более мелких капель дисперсной фазы.

Данные процессы в совокупности могут приводить к изменению процентного соотношения жирных кислот за счет ускорения и инициирования ряда химических реакций, а концентрирование энергии в очень малых объемах может привести к разрыву химических связей макромолекул [135; 147; 152; 260].

Кроме того, повышение температуры и давления при схлопывании кавитационных пузырьков инициирует образование внутри и рядом с ними свободных водородных $\dot{\text{H}}$ и гидроксильных радикалов $\text{OH}\cdot$, под действием которых возможен распад молекул ПАВ, аккумулирующихся на поверхности кавитационных пузырьков [258].

Эти радикалы рекомбинируют, возбуждая сонолюминесценцию:



или диффундируют в объем и вступают в реакции с растворителем или растворенными веществами, инициируя радикальные химические процессы.

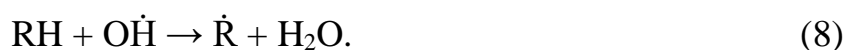
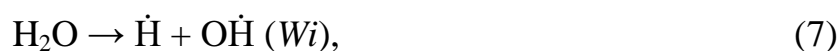
При рекомбинации радикалов $\text{OH}\cdot$ образуется пероксид водорода H_2O_2 :



Хорошо известно, что пероксид водорода – активный инициатор окислительно-восстановительных реакций с различными веществами в растворах.

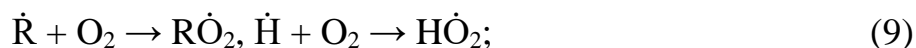
Возникшие при сонолизе свободные водородные $\dot{\text{H}}$ и гидроксильные радикалы $\text{OH}\cdot$ в присутствии кислорода инициируют окисление биоорганических соединений в продукте, подвергаемом ультразвуковым воздействиям.

Окисление органических соединений в жидкой фазе хорошо изучено. Этот процесс является сложной радикально-цепной реакцией с выраженным разветвлением. Под воздействием ультразвука процесс зарождения цепи, или образования радикалов описывается следующими принципиальными уравнениями.



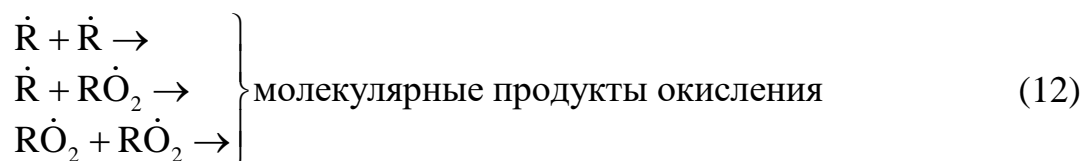
где W_i – скорость образования радикалов \dot{H} и \dot{OH} под действием ультразвука; RH – соединение с органическим радикалом R и подвижным атомом водорода H .

Продолжение цепи включает следующие реакции, совокупность которых представляет общую схему окисления органических веществ:



где RO_2 – органический пероксидный радикал; $ROOH$ – органический пероксид.

Разветвление цепи происходит следующим образом:



В зависимости от природы биоорганических соединений RH и условий окисления (скорости W_i и концентрации RH , O_2 , $ROOH$) механизм и скорость процесса могут значительно различаться. Особенно легко окисляются липиды клеточных мембран. Поэтому рассмотренный механизм широко известен как пероксидное окисление липидов. Соответственно под RH и $ROOH$ следует понимать липид и его пероксид [85].

Убедительным доказательством образования свободных радикалов является их регистрация методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [19].

В связи с этим возникает необходимость провести количественную оценку жирнокислотного состава после воздействия ультразвука различной продолжи-

тельности по времени и контроль образования свободных радикалов после обработки ультразвуком.

Для проведения исследований в качестве контроля использовали льняное масло, характеризующееся оптимальным соотношением омега-3 и омега-6 жирных кислот в своем составе.

Из анализа газовой хроматограммы льняного масла (рисунок В.1, приложение В) и идентификации масс-спектров жирных кислот было найдено, что в его составе были обнаружены пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линолевая и α -линоленовая кислоты с их содержанием 6,2 %; 6,13 %; 23,06 %; 17,49 % и 45,52 % соответственно.

Как видно из анализа насыщенных жирных кислот, таких как пальмитиновая и стеариновая, в несколько раз меньше в льняном масле по сравнению с ненасыщенными (олеиновой, линолевой и α -линоленовой) кислотами.

После ультразвукового диспергирования в течение 10 мин при формировании БЭФ на основе льняного масла содержание в нем жирных кислот составило: пальмитиновой – 6,28 %, стеариновой – 5,84 %, олеиновой – 22,26 %, линолевой – 17,18 %, α -линолевой – 44,84 %.

В результате обработки ультразвуком льняного масла с водой, содержание пальмитиновой кислоты увеличилось на 0,08 %, стеариновой уменьшилось на 0,29 %, олеиновой – на 0,8 %, а содержание линолевой и α -линоленовой кислот уменьшилось на 0,31 % и 0,68 % соответственно.

БЭФ, диспергированный ультразвуком в течение 20 мин, характеризовался следующим соотношением жирных кислот: пальмитиновой – 6,18 %, стеариновой – 5,71 %, олеиновой – 22,23 %, линолевой – 17,04 %, α -линолевой – 44,74 %.

После диспергирования БЭФ ультразвуком в течение 30 мин также произошли незначительные изменения в жирнокислотном составе относительно контрольного образца. Содержание жирных кислот снизилось: пальмитиновой на 0,02 %, стеариновой на 0,42 %, олеиновой – на 0,83 %, а линолевой и α -линоленовой кислот на 0,45 % и 0,13 % соответственно.

Хроматограммы представлены в приложении В.

Из хроматограмм следует, что содержание пальмитиновой кислоты составило 6,35 %, что на 0,15 % ниже, чем в контроле, содержание стеариновой кислоты идентично ее содержанию в контрольном образце и составило 6,13 %. Минимальное отклонение наблюдается по содержанию олеиновой кислоты (–0,06 %) в сравнении с контрольным образцом, которое составило 23,00 %. Отклонения по содержанию линолевой и α -линоленовой кислотам также незначительны. Содержание линолевой кислоты в образце 4 составило 17,40 %, что ниже ее значения в контрольном образце на 0,09 %, а α -линоленовой – 45,39 %, которое ниже на 0,13 % по сравнению с контролем.

В таблице 6 представлены результаты определения жирнокислотного состава контрольного образца и содержание жирных кислот в БЭФ, полученных с помощью ультразвуковой кавитации.

Таблица 6 – Сравнение жирнокислотного состава льняного масла и БЭФ после ультразвукового диспергирования

Наименование жирной кислоты	Содержание, %			
	Льняное масло	БЭФ (10 мин)	БЭФ (20 мин)	БЭФ (30 мин)
Пальмитиновая	6,20	6,28	6,18	6,35
Стеариновая	6,13	5,84	5,71	6,13
Олеиновая	23,06	22,26	22,23	23,00
Линолевая	17,49	17,18	17,04	17,40
α -линоленовая	45,52	44,84	44,74	45,39
Соотношение кислот	1:1:3,8:2,9:7,4	1:1:3,8:2,9:7,7	1:1:3,8:2,9:7,8	1:1:3,8:2,9:7,8

Таким образом, отклонения в значениях, характеризующие содержание жирных кислот в БЭФ, диспергированных ультразвуком в течение 10; 20 и 30 мин по сравнению с контрольным образцом – льняным маслом, не подвергнутом обработке, незначительны и находятся в диапазоне 0,02–0,83, что можно отнести к погрешности измерения, которая составляет 0,015 %.

Результаты исследования показали, что продолжительность ультразвукового диспергирования (10; 20 и 30 мин) не влияет на качественный и количественный

состав масляной фазы (среды) БЭПС. Следовательно, при ее использовании в технологии БЭПС необходимо учитывать прочие технологические параметры.

Методом ЭПР было установлено отсутствие свободных радикалов как в контрольном образце – льняном масле, так и в полученных на его основе БЭФ, диспергированных с использованием ультразвукового воздействия, о чем свидетельствует отсутствие ЭПР сигнала в диапазоне значений напряженности магнитного поля вблизи g -фактора 2,0023 (рисунок 15).

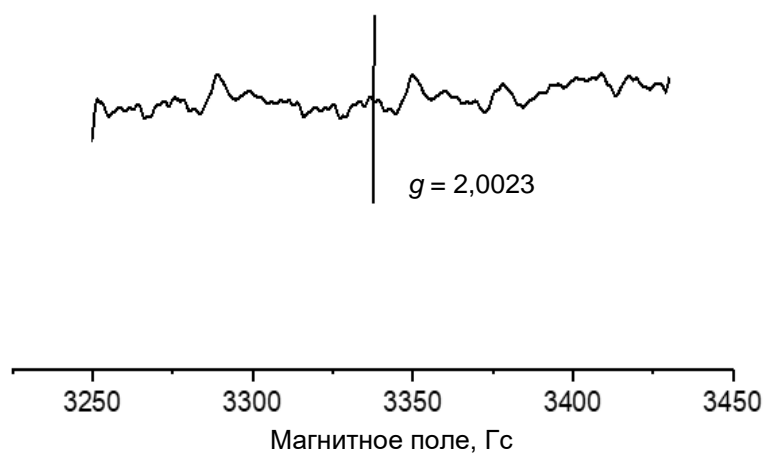


Рисунок 15 – ЭПР-спектр БЭФ, диспергированного ультразвуком в течение 10 мин

В связи с этим можно сделать вывод, что как льняное масло, так и БЭФ, полученные на его основе с использованием ультразвукового диспергирования, обладают хорошими антиоксидантными свойствами, препятствующими образованию свободных радикалов в этих системах [223].

Установлено отсутствие свободных радикалов как в контрольном образце – льняном масле, так и в полученных на его основе эмульсиях, диспергированных с использованием ультразвукового воздействия, что говорит о том, что используемые технологические параметры, в том числе продолжительность ультразвукового воздействия, позволяют получить БЭФ, оптимальные по своим свойствам для применения в БЭПС.

Выбор эмульгаторов для формирования БЭФ и БЭПС

Образование эмульсии термодинамически невыгодно из-за увеличения межфазной площади после эмульгирования и из-за количества энергии, необходимого

для формирования капель. При образовании тонкодисперсной эмульсии необходимо большее количество энергии для разрушения капель. Однако при снижении межфазного натяжения разница в давлении внутренней и внешней поверхности капли уменьшается, что способствует снижению количества энергии, необходимого для разрушения капель [272].

При формировании потребительских свойств эмульсионных систем ставится задача – получить концентрированные и высококонцентрированные эмульсии повышенной стойкости. Если диспергировать только масляную и водную фазы, система, как правило, быстро разрушается, за счет различных механизмов, в том числе флокуляции, коалесценции, созревания по Оствальду и гравитационного разделения. Для снижения межфазного натяжения и предотвращения слияния вновь образованных капель в технологиях эмульсионных систем необходимо применять эмульгаторы, растворимые в одной из фаз дисперсной системы.

Эмульгаторы представляют собой поверхностно-активные молекулы, способные адсорбироваться на поверхности капель, облегчая их разрушение и защиту от агрегации [295; 354].

Процесс образования эмульсионной системы с использованием ПАВ зависит от ряда факторов. Стойкость эмульсии определяют два фактора: поверхность натяжения фаз и межфазное натяжение. Изменить поверхностное натяжение можно с помощью регулирования поверхностной энергии. Следствием уменьшения межфазного натяжения в продукте является адсорбция, происходящая на этапе эмульгирования. В процессе адсорбции эмульгатор должен легко переноситься на поверхность и удерживаться там для концентрирования. Такой особенностью обладают низкомолекулярные вещества, состоящие из гидрофобных и гидрофильных функциональных групп, формирующие свойства эмульгатора.

Значение гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) является показателем совместимости эмульгатора с маслом или водой и характеризует соотношение гидрофильной и гидрофобной частей молекулы ПАВ [137].

Выбор вида и количества эмульгатора в каждом конкретном случае зависит от концентрации жира в продукте, особенностей технологии диспергирования

и используемого оборудования. Устойчивость эмульсии под влиянием факторов, таких как pH, ионная сила, нагревание, охлаждение или длительное хранение, зачастую определяется типом используемого эмульгатора.

С другой стороны, применение комплекса эмульгаторов способствует повышению стабильности эмульсии к агрегации частиц после образования.

Подбор эмульгатора для конкретной эмульсионной системы целесообразно осуществлять в три этапа:

- 1) определение оптимального значения числа ГЛБ для проектируемой эмульсионной системы;
- 2) определение оптимальных эмульгаторов из выбранной группы;
- 3) окончательная корректировка ГЛБ и расчет количества эмульгатора в зависимости от заданных показателей эмульсионной системы.

Для формирования БЭФ в качестве масляной (среды) фазы использовали следующие купажи масел согласно параграфу 4.1.1: купаж 1, купаж 2 и купаж 3.

Для стабилизации БЭФ использовали комплексный эмульгатор, содержащий Tween 80 и лецитин. Концентрация комплексного эмульгатора составляла 1,0–7,0 об.%. В связи с тем, что значение ГЛБ эмульгатора учитывается при формировании соответствующего типа эмульсии, был произведен расчет ГЛБ комплексного эмульгатора по формуле [142]:

$$\text{ГЛБ}_{\text{кэ}} = \frac{W_{\text{т}} \text{ГЛБ}_{\text{т}} + W_{\text{л}} \text{ГЛБ}_{\text{л}}}{W_{\text{т}} + W_{\text{л}}}, \quad (13)$$

где $\text{ГЛБ}_{\text{кэ}}$ – значение ГЛБ комплексного эмульгатора; $W_{\text{т}}$ – массовая доля Tween 80; $W_{\text{л}}$ – массовая доля лецитина; $\text{ГЛБ}_{\text{т}}$ – значение ГЛБ Tween 80; $\text{ГЛБ}_{\text{л}}$ – значение ГЛБ лецитина.

На следующем этапе изучали влияние значения ГЛБ комплексного эмульгатора на размер капель дисперсной фазы (рисунок 16, таблица 7).

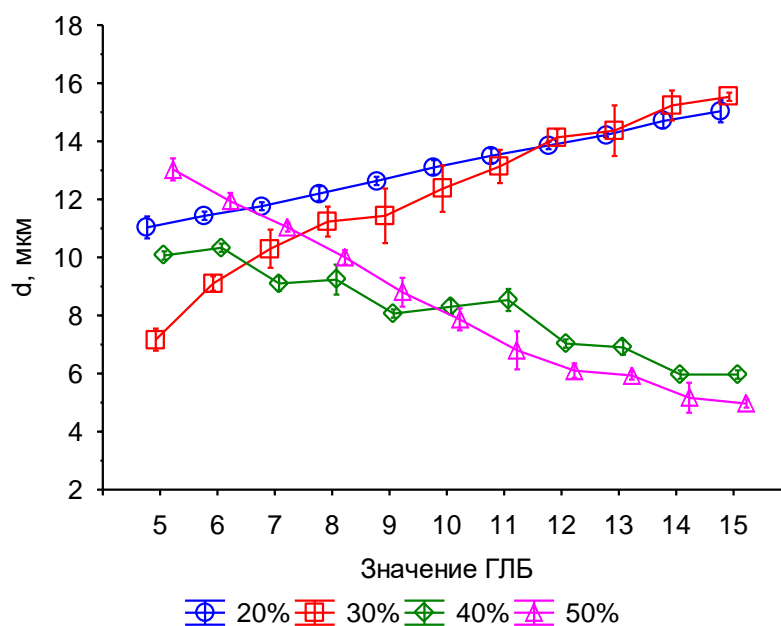


Рисунок 16 – Зависимость размера капель дисперсной фазы от значения ГЛБ комплексного эмульгатора

Таблица 7 – Результаты статистической обработки данных

ГЛБ	Размер капель d , мкм							
	20 %	V, %	30 %	V, %	40 %	V, %	50 %	V, %
5	$11,03 \pm 0,15^{b-k}$	1,36	$7,17 \pm 0,15^{b-k}$	2,09	$10,07 \pm 0,06^{c-k}$	0,60	$13,03 \pm 0,15^{b-k}$	1,15
6	$11,43 \pm 0,06^{ac-k}$	0,52	$9,10 \pm 0,10^{ac-k}$	1,10	$10,33 \pm 0,06^{c-k}$	0,58	$11,93 \pm 0,12^{ac-k}$	1,01
7	$11,76 \pm 0,06^{abd-k}$	0,51	$10,30 \pm 0,26^{abd-k}$	2,52	$9,10 \pm 0,10^{abd-k}$	1,1	$11,03 \pm 0,06^{a-bd-k}$	0,54
8	$12,20 \pm 0,10^{abce-k}$	0,82	$11,23 \pm 0,21^{abcf-k}$	1,87	$9,23 \pm 0,21^{abd-k}$	2,28	$10,00 \pm 0,10^{abce-k}$	1,00
9	$12,63 \pm 0,06^{a-df-k}$	0,48	$11,43 \pm 0,38^{abcf-k}$	3,32	$8,07 \pm 0,06^{a-dg-k}$	0,74	$8,80 \pm 0,20^{a-df-k}$	2,27
10	$13,10 \pm 0,10^{a-eg-k}$	0,76	$12,37 \pm 0,32^{a-eg-k}$	2,59	$8,30 \pm 0,10^{a-dh-k}$	1,20	$7,87 \pm 0,15^{a-eg-k}$	1,91
11	$13,50 \pm 0,10^{a-fh-k}$	0,74	$13,13 \pm 0,23^{a-fh-k}$	1,75	$8,53 \pm 0,15^{a-eh-k}$	1,76	$6,80 \pm 0,26^{a-fh-k}$	3,82
12	$13,86 \pm 0,05^{a-gi-k}$	0,36	$14,13 \pm 0,12^{a-gjk}$	0,85	$7,03 \pm 0,06^{a-gjk}$	0,85	$6,10 \pm 0,10^{a-gjk}$	1,64
13	$14,22 \pm 0,03^{a-hj-k}$	0,21	$14,37 \pm 0,35^{a-gjk}$	2,44	$6,90 \pm 0,10^{a-gjk}$	1,45	$5,93 \pm 0,06^{a-gjk}$	1,01
14	$14,70 \pm 0,10^{a-j}$	0,68	$15,23 \pm 0,21^{a-i}$	1,38	$5,97 \pm 0,06^{a-i}$	1,01	$5,17 \pm 0,21^{a-i}$	4,06
15	$15,03 \pm 0,15^{a-g}$	0,99	$15,53 \pm 0,06^{a-i}$	0,39	$5,97 \pm 0,06^{a-i}$	1,01	$4,97 \pm 0,06^{a-i}$	1,21
Сила влияния, %	99,83 ($p < 0,01$)		99,72 ($p < 0,01$)		99,85 ($p < 0,01$)		99,90 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-k$ – по значению ГЛБ) существенны ($p < 0,05$).

В результате анализа было установлено, что значение ГЛБ оказывает значимое влияние на изменение размера капель дисперсной фазы для всех исследуемых вариантов БЭФ независимо от концентрации масляной фазы. Степень рассеивания значений незначительна. Причем сила влияния составила более 99 % (99,83 для БЭФ с концентрацией купажа масел 20 %; 99,72 при концентрации 30 %; 99,85 при 40 %; 99,90 при 50 %). Различия средних значений существенны ($p < 0,01$).

В БЭФ с концентрацией купажа масел 20 % и 30 % с увеличением ГЛБ комплексного эмульгатора от 11 до 15, диаметр капель дисперсной фазы возрастал от 15 до 5 мкм. В БЭФ с концентрацией купажа масел 40 % и 50 % диаметр капель дисперсной фазы снижался от 5 до 15 мкм.

Так как было отмечено выше значение ГЛБ комплексного эмульгатора рассчитывалось исходя из концентрации каждого эмульгатора. В связи с этим преобладание того или иного эмульгатора способствует формированию тонкодисперсной эмульсии в зависимости от ее типа. Рост капель дисперсной фазы в БЭФ происходил из-за уменьшения содержания в системе одного и увеличения количества другого эмульгатора. Образование более крупных капель дисперсной фазы способствует коалесценции, тогда как оптимальное соотношение эмульгаторов будет способствовать экспоненциальному уменьшению среднего диаметра капель, их более узкому распределению по размерам и увеличению дисперсности.

Размер капель в БЭФ уменьшается также и с ростом концентрации комплексного эмульгатора до определенного предела, а увеличение содержания дисперсной фазы в БЭФ, как правило, приводит к увеличению диаметра капель дисперсной фазы.

Для изучения влияния концентрации ПАВ и доли дисперсной фазы на размер капель дисперсной фазы проведены исследования БЭФ, стабилизированных комплексным эмульгатором на основе Tween 80 и лецитина.

С увеличением концентрации купажа масел в БЭФ диаметр масляных капель уменьшался до 5–15 мкм, и в определенном интервале практически не изменялся (рисунок 17, таблица 8). Дальнейший рост концентрации купажа масел приводил к резкому росту размера масляных капель.

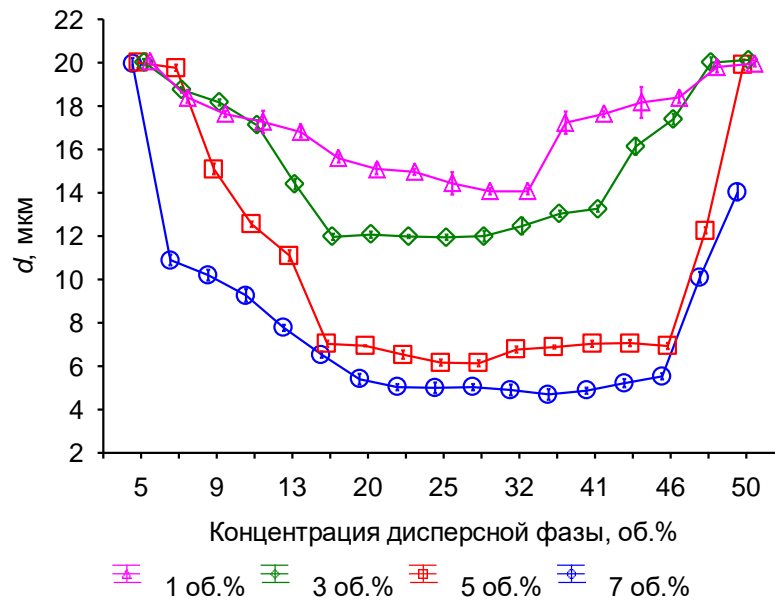


Рисунок 17 – Зависимость размера капель дисперсной фазы в БЭФ от концентрации купажа масел при различном количестве комплексного эмульгатора

Таблица 8 – Результаты статистической обработки данных

Концентрация дисперсной фазы, об. %	Размер капель d , мкм							
	7 %	V, %	5 %	V, %	3 %	V, %	1 %	V, %
5	$19,93 \pm 0,12$ <i>b-q</i>	0,60	$20,00 \pm 0,10$ <i>b-p</i>	0,50	$20,03 \pm 0,06$ <i>b-o</i>	0,30	$20,07 \pm 0,06$ <i>b-o</i>	0,29
10	$9,27 \pm 0,12$ <i>abce-q</i>	1,29	$12,55 \pm 0,05$ <i>abce-q</i>	0,40	$17,10 \pm 0,10$ <i>abce-npq</i>	0,58	$17,20 \pm 0,10$ <i>abce-km-q</i>	0,58
15	$7,77 \pm 0,06$ <i>a-df-q</i>	0,77	$11,00 \pm 0,10$ <i>a-df-q</i>	0,91	$14,50 \pm 0,40$ <i>a-df-q</i>	2,76	$16,80 \pm 0,10$ <i>a-df-q</i>	0,69
20	$5,40 \pm 0,10$ <i>a-fh-mpq</i>	1,85	$6,94 \pm 0,01$ <i>a-ehijq</i>	0,14	$12,07 \pm 0,06$ <i>a-el-q</i>	0,48	$15,10 \pm 0,10$ <i>a-fi-q</i>	0,83
25	$5,00 \pm 0,10$ <i>a-glopq</i>	2,00	$6,17 \pm 0,06$ <i>a-hk-q</i>	0,97	$11,94 \pm 0,05$ <i>a-el-q</i>	0,42	$14,43 \pm 0,21$ <i>a-hl-q</i>	1,74
30	$5,03 \pm 0,06$ <i>a-glopq</i>	1,19	$6,13 \pm 0,06$ <i>a-hk-q</i>	0,98	$12,00 \pm 0,10$ <i>a-el-q</i>	0,83	$14,07 \pm 0,06$ <i>a-hl-q</i>	0,48
35	$4,90 \pm 0,10$ <i>a-gn-q</i>	2,04	$6,77 \pm 0,06$ <i>a-fhijmnpq</i>	0,89	$12,47 \pm 0,15$ <i>a-en-q</i>	1,23	$14,07 \pm 0,06$ <i>a-hl-q</i>	0,46
40	$4,70 \pm 0,10$ <i>a-jn-q</i>	2,13	$6,88 \pm 0,03$ <i>a-ehijq</i>	0,44	$13,03 \pm 0,06$ <i>a-eg-jn-q</i>	0,44	$17,23 \pm 0,21$ <i>abce-km-q</i>	1,60
45	$5,22 \pm 0,08$ <i>a-fklmopq</i>	1,53	$7,07 \pm 0,06$ <i>a-eh-kpq</i>	0,85	$16,13 \pm 0,15$ <i>a-topq</i>	0,94	$18,17 \pm 0,29$ <i>ac-mpq</i>	1,79
50	$14,03 \pm 0,15$ <i>a-p</i>	1,05	$19,90 \pm 0,10$ <i>c-p</i>	0,50	$20,13 \pm 0,06$ <i>b-o</i>	0,29	$19,97 \pm 0,06$ <i>b-o</i>	0,29
Сила влияния, %	99,98 ($p < 0,01$)		99,99 ($p < 0,01$)		99,98 ($p < 0,01$)		99,86 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-q$ по концентрации дисперсной фазы) существенны ($p < 0,05$).								

При низких концентрациях купажа масел количество комплексного эмульгатора оказывалось недостаточным для стабилизации эмульсии, что приводило к формированию более крупных капель дисперсной фазы. При этом высокие концентрации купажа масел способствовали резкому увеличению диаметра капель дисперсной фазы в связи с недостаточным количеством ПАВ в системе для того, чтобы осуществить стабилизацию масляных капель в полном объеме.

В результате анализа было установлено, что концентрация дисперсной фазы оказывает значимое влияние на изменение размера капель дисперсной фазы для всех исследуемых вариантов БЭФ независимо от концентрации комплексного эмульгатора. Степень рассеивания значений незначительна. Сила влияния превысила 99 % (99,98 для БЭФ с массовой долей эмульгатора 3 и 7 об.%; 99,99 при его концентрации 5 %; 99,86 при концентрации 1 %). Различия средних значений существенны ($p < 0,01$).

С увеличением концентрации комплексного эмульгатора с 1 до 3 об.% размер капель дисперсной фазы уменьшался от 15 и более до 10 мкм в зависимости от концентрации дисперсной фазы. При дальнейшем увеличении концентрации эмульгатора от 5 до 7 об.% диаметр капель дисперсной фазы в БЭФ составил 5–7 мкм.

Из оптимального значения числа ГЛБ эмульгатора для БЭФ и расчета его количества в зависимости от заданных показателей можно получить стабильные, тонкодисперсные эмульсии, стабилизированные комплексным эмульгатором, с каплями дисперсной фазы диаметром 5 мкм [160]. При этом следует учитывать особенности БЭФ, природу эмульгаторов и особенности их взаимодействия с прочими ингредиентами, входящими в состав эмульсионной пищевой системы. Исследования подтвердили эффективность обеспечения стабильности эмульсии за счет использования комплекса эмульгаторов, обладающих синергетическими свойствами.

Оптимизация технологических параметров ультразвукового диспергирования БЭФ

Стабильность эмульсии является важным параметром, на который могут повлиять изменения в ее составе, а также внешние факторы. Поэтому представляется важным выбрать оптимальные технологические параметры, которые будут способствовать высокой стабильности БЭФ в условиях энергоэффективности.

Размер капель дисперсной фазы в эмульсии очень важен для оптических, а также физико-химических свойств, таких как ее стойкость. В ходе исследования были получены изображения, которые были обработаны с применением программных средств и на основе полученных результатов построена диаграмма распределения размеров капель дисперсной фазы в БЭФ. Средний размер капель дисперсной фазы, полученных путем варьирования концентрации поверхностно-активного вещества, вида купажа масел и параметров ультразвукового диспергирования, находился в диапазоне от 6,1 до 7,7 мкм (рисунки 18 и 19).

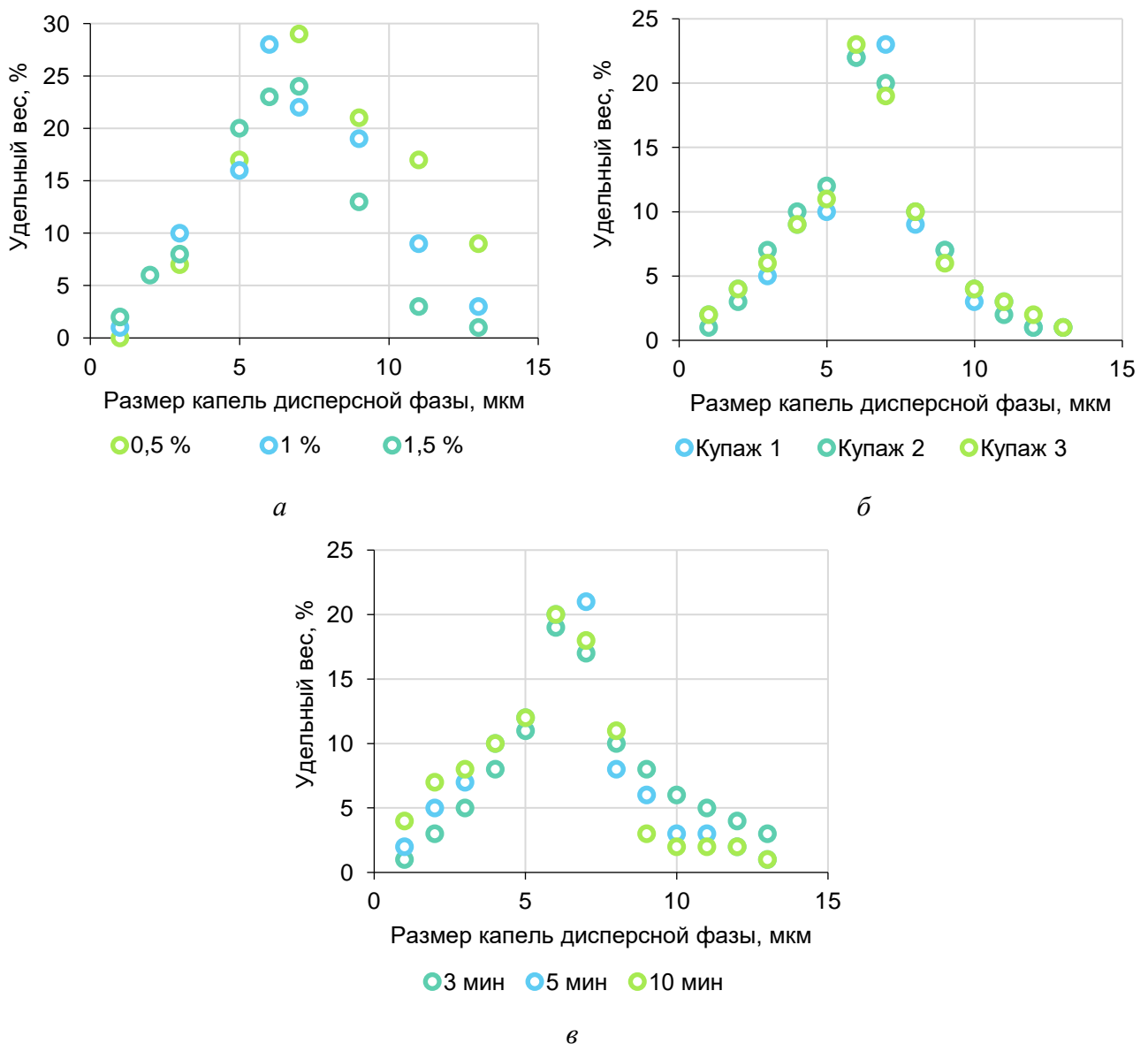


Рисунок 18 – Размер и распределение капель дисперсной фазы в БЭФ в зависимости от концентрации комплексного эмульгатора (*а*), купажа масел (*б*), продолжительности обработки ультразвуком (*в*)

В фиксированных условиях концентрации купажа масел и времени обработки ультразвуком увеличение массовой доли комплексного эмульгатора с 0,5 % до 1,5 % привело к значительному уменьшению размеров капель дисперсной фазы. Вид купажа масел не оказывал существенного влияния на размер капель дисперсной фазы при использовании эмульгаторов. Продолжительность обработки БЭФ ультразвуком до определенного момента напрямую влияет на изменение размера капель. Однако по истечении 10 мин размер капель менялся незначительно (рисунок 19).

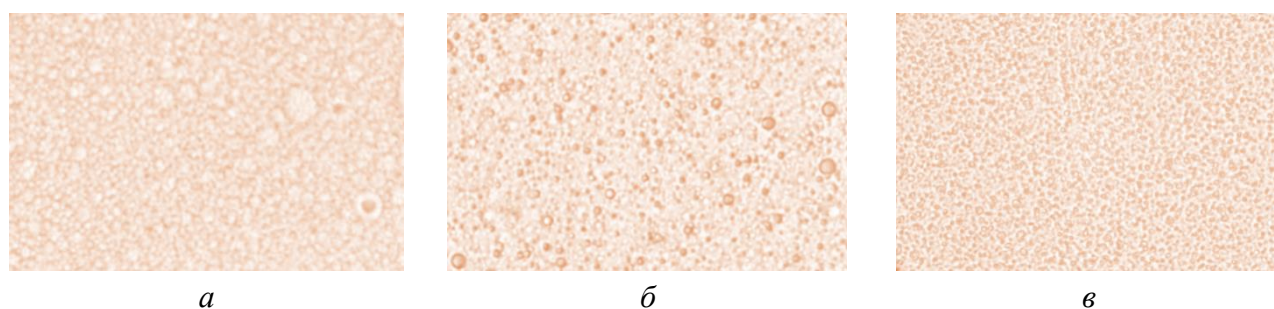


Рисунок 19 – Размер капель дисперсной фазы в БЭФ в зависимости от продолжительности ультразвукового диспергирования: 3 мин (а), 5 мин (б), 10 мин (в)

Стойкость эмульсии повышалась после конкретного времени ультразвукового диспергирования в зависимости от других параметров процесса (рисунки 20, 21).

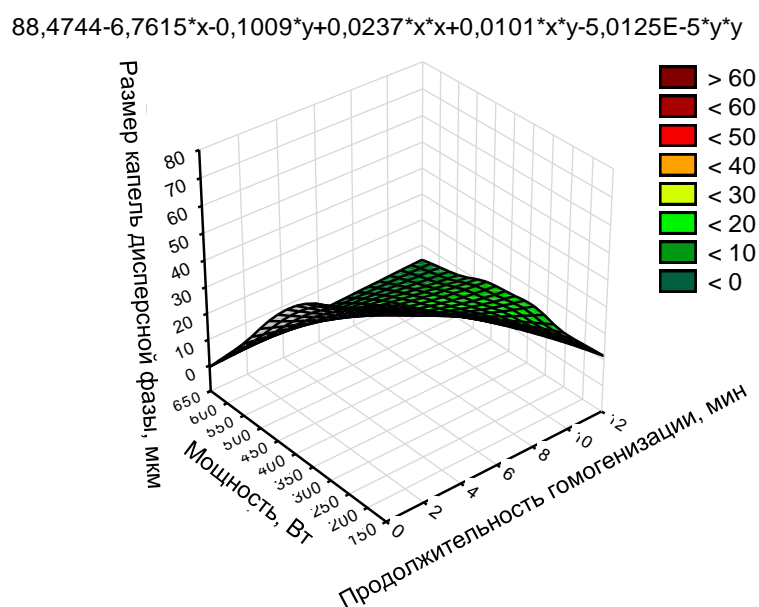


Рисунок 20 – Зависимость размера капель дисперсной фазы от мощности и продолжительности обработки

$$49,3556+4,4505*x+0,1292*y-0,0606*x*x-0,0062*x*y-8E-5*y*y$$

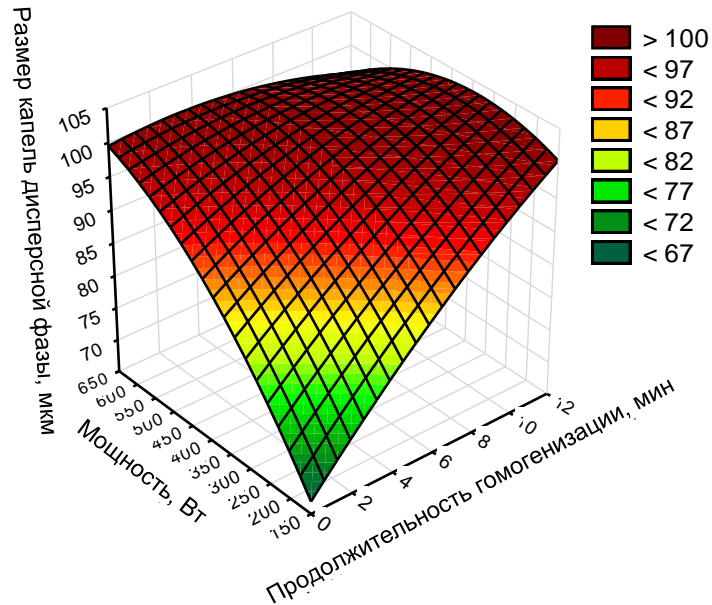


Рисунок 21 – Зависимость стойкости эмульсии от мощности и продолжительности обработки

Это свидетельствует, что при увеличении продолжительности диспергирования вероятность слияния капель дисперсной фазы снижается.

Кроме того, эффект кавитации способствует равномерному распределению капель дисперсной фазы по размерам. Исследования показали, что при увеличении продолжительности ультразвукового диспергирования диапазон распределения капель дисперсной фазы по размерам уменьшился.

Для достижения высокой степени диспергирования масляной фазы в водной фазе и водной фазы в масляной необходима энергия для разрушения границы раздела М/В и В/М. С помощью ультразвуковой кавитации силы сдвига приводят к разрушению более крупных капель на более мелкие. Для определения степени влияния мощности ультразвука на размер капель варьировалось ее количество и амплитуда мощности с 40 % до 70 % с шагом 10 %. Было замечено, что размер капель уменьшался с увеличением мощности, как показано на рисунке 21. Минимальный размер капель был получен при амплитуде 50 % и мощности 600 Вт после 10 мин обработки ультразвуком. Кроме того, стойкость эмульсии также увеличилась из-за высокого рассеяния энергии при данной амплитуде. При данных параметрах эмульсия была полностью стабильной даже через 3 мин обработки ультразвуком.

Важным показателем качества БЭФ является их стойкость. Для того чтобы определить стойкость БЭФ в процессе хранения, проводили исследования их кинетической стабильности. Известно, что под воздействием центробежной силы и высоких температур увеличивается броуновское движение капель эмульсии, что приводит к ускорению процесса коалесценции. У физически стабильной эмульсии данные процессы не наблюдаются.

Исследования показали кинетическую стабильность модельных образцов БЭФ: не наблюдалось седиментации и значительного изменения в размере капель дисперсной фазы на протяжении всего периода хранения (рисунок 22).

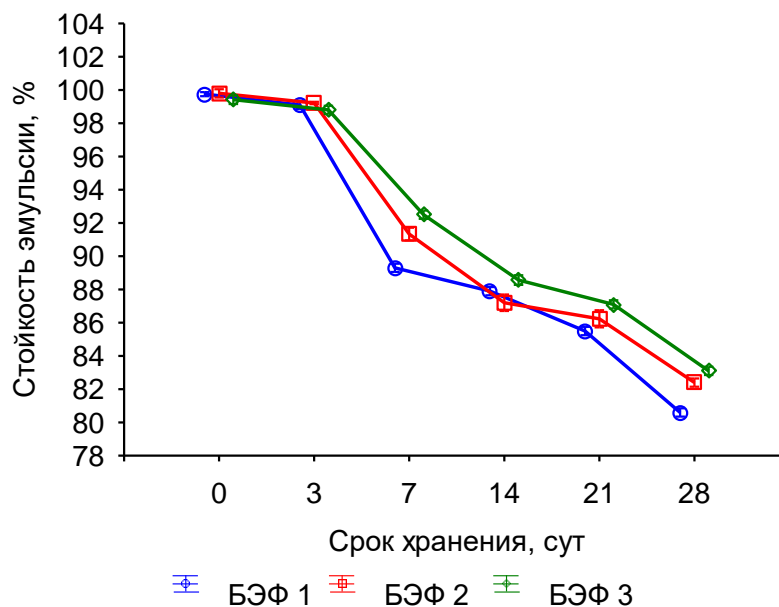


Рисунок 22 – Динамика стойкости эмульсии модельных образцов БЭФ в процессе хранения

Как показывают результаты ANOVA (таблица 9), продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии модельных образцов БЭФ (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$).

Использование эмульгатора и ультразвуковой кавитации при указанных оптимальных технологических параметрах позволило сформировать тонкодисперсную структуру и кинетическую стабильность БЭФ. Модельные образцы БЭФ, приготовленные при параметрах, отличных от оптимальных, характеризовались эффектом седиментации, увеличением размера капель под действием центробежной силы.

Таблица 9 – Результаты статистической обработки данных

Срок хранения, сут	Стойкость эмульсии, %					
	БЭФ 1	V, %	БЭФ 2	V, %	БЭФ 3	V, %
0	90,36 ± 0,05 ^{b-f}	0,05	99,80 ± 0,10 ^{b-f}	0,10	99,42 ± 0,10 ^{b-f}	0,10
3	99,75 ± 0,10 ^{ac-f}	0,11	99,22 ± 0,03 ^{ac-f}	0,03	98,80 ± 0,10 ^{ac-f}	0,10
7	99,10 ± 0,10 ^{abd-f}	0,11	91,33 ± 0,15 ^{abd-f}	0,17	92,50 ± 0,10 ^{abd-f}	0,11
14	89,30 ± 0,10 ^{abcef}	0,11	87,20 ± 0,20 ^{abcef}	0,23	88,57 ± 0,12 ^{abcef}	0,13
21	87,90 ± 0,10 ^{a-df}	0,12	86,23 ± 0,21 ^{a-df}	0,24	87,10 ± 0,10 ^{a-df}	0,11
28	85,50 ± 0,10 ^{a-e}	0,12	82,40 ± 0,10 ^{a-e}	0,12	83,10 ± 0,10 ^{a-e}	0,12
Сила влияния, %	99,99 ($p < 0,01$)		99,98 ($p < 0,01$)		99,99 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a-f по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,05$).						

В ходе исследования были определены оптимальные технологические параметры получения стабильных БЭФ. Было установлено, что амплитуда колебаний 50 % является наиболее эффективной, поскольку полученный размер капель был самым низким, оптимальное время обработки составляет 10 мин при мощности ультразвукового воздействия 600 Вт. Оптимальное количество вносимого ПАВ составило 1 %. Такие технологические параметры позволяют получить БЭФ с максимально однородным распределением капель дисперсной фазы, средний диаметр которых находится в пределах от 6,1 до 7,7 мкм. Вид масла не оказывал существенного влияния на параметры эмульсии.

Исследования подтвердили высокую стойкость БЭФ в течение 28 сут, которую определяли с помощью центрифугирования и испытаний на термическую нагрузку, при этом было установлено, что размер капель не изменился после анализа кинетической стабильности БЭФ.

Исследование реологических характеристик БЭФ

Современные принципы управления качеством пищевых систем связаны с изучением различных физико-химических, в том числе реологических, параметров.

Реологические свойства во многом способны определить перспективы использования БЭФ в составе БЭПС, а также могут служить косвенным методом оценки их структурных особенностей. Данные о величине вязкости и ее зависимо-

сти от сдвиговых скоростей и температурных условий могут быть использованы для более детального исследования формирования внутренней структуры БЭФ и поиска решений технологических проблем, возникающих при нарушении их стабильности.

В качестве объектов исследования выступали приготовленные в лабораторных условиях пять образцов БЭФ, в качестве масляной (среды) фазы которых использовали следующие купажи масел согласно параграфу 4.1.1: купаж 1 (образец 1), купаж 2 (образец 2) и купаж 3 (образец 3). Диспергирование БЭФ осуществляли с помощью ультразвукового гомогенизатора в течение 3 мин (образцы 1–3); 5 мин (образец 4) и 10 мин (образец 5).

Результаты исследований реологического поведения БЭФ приведены на кривых зависимостях динамической вязкости от скорости сдвига (рисунки 23–28).

Кривые течения БЭФ проявляют неньютоновские свойства:

- при малых скоростях сдвига их вязкость не является постоянной величиной;
- они характеризуются высокими значениями динамической вязкости, значительно превышающими вязкость в условиях высоких скоростей.

В момент вращения шпинделя в образце структура молекул эмульсии меняется, они стремятся расположиться параллельно движению поверхности шпинделя. В результате сопротивление между отдельными слоями жидкости ослабевает, а вязкость снижается. С ускорением вращения первоначальная структура разрушается, молекулы скользят относительно друг друга, и вязкость понижается.

Резко выражен спад вязкости на узком интервале напряжений сдвига и хорошо заметен возможный ньютоновский участок течения, где изменение скорости сдвига БЭФ значительно меньше влияют на вязкость. Причиной такого поведения является разрушение и образование макромолекул в процессе сдвигового течения [44; 65]. Это свидетельствует о наличии в БЭФ коагуляционной структуры, разрушающейся при наложении даже небольших напряжений сдвига. В целом реологическое поведение БЭФ определяется реологическими свойствами внешней дисперсионной среды, т. е. зависит от свойств полимерной сетки зацеплений.

С увеличением продолжительности ультразвукового диспергирования с 3 до 5 мин вязкость изменялась незначительно, при обработке БЭФ в течение 10 мин он

характеризуется максимальной вязкостью и переходом в режим ньютоновского течения при более высоких сдвиговых скоростях (рисунок 23). Это, вероятно, связано с уменьшением размеров структурных элементов дисперсной фазы БЭФ при увеличении продолжительности ультразвукового диспергирования, что уже рассматривалось в проведенных ранее исследованиях [125; 220].

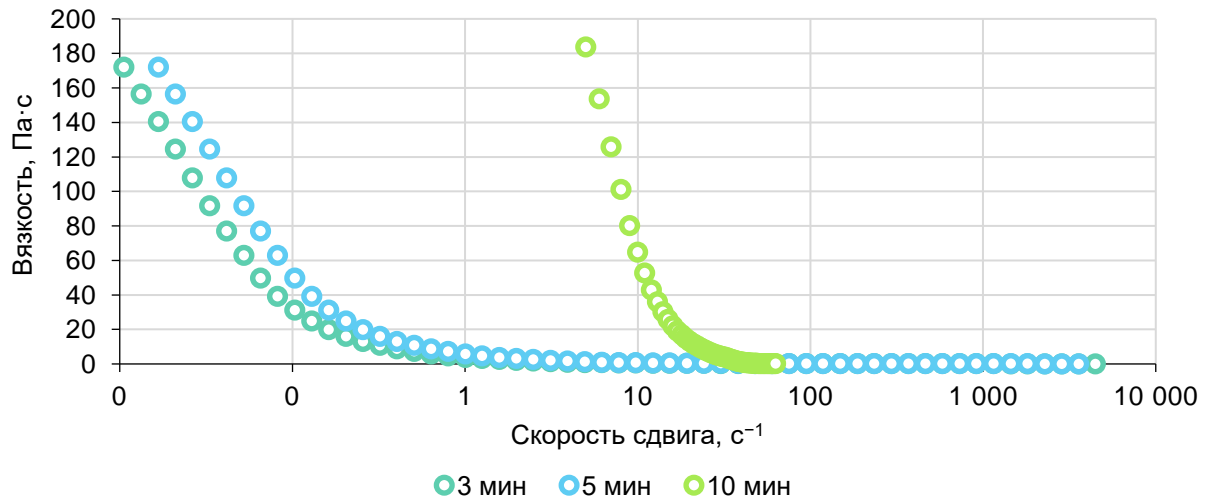


Рисунок 23 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ, полученных с различной продолжительностью диспергирования при температуре 20 °С

Из рисунка 24 следует, что продолжительность диспергирования не оказывает влияния на вязкость полученных эмульсий.

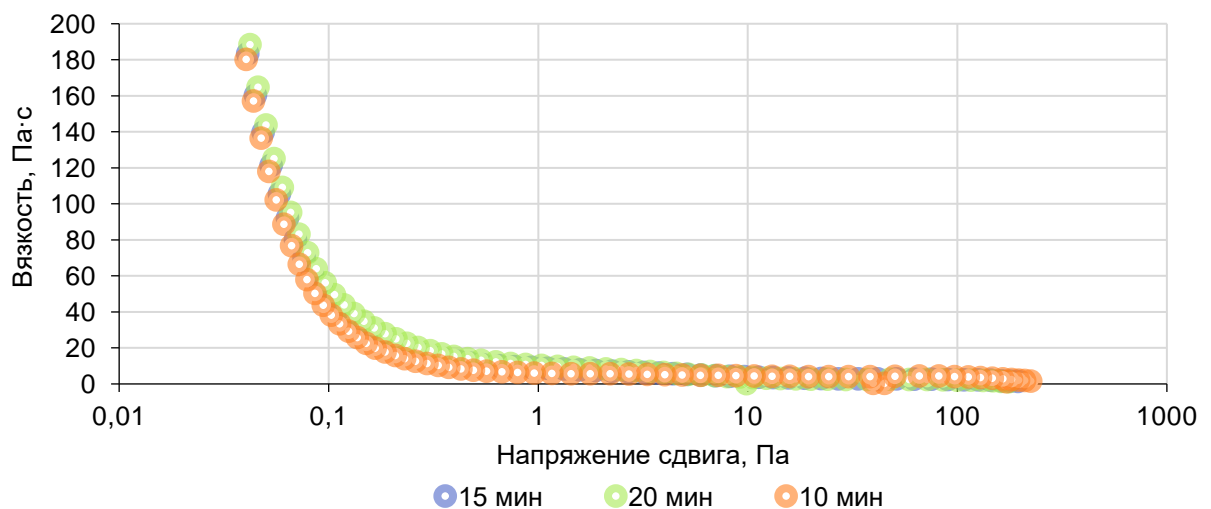


Рисунок 24 – Влияние продолжительности ультразвукового диспергирования на вязкость БЭФ

На рисунке 25 приведены кривые зависимостей динамической вязкости от скорости сдвига эмульсий, основой которых являются различные комбинации масел, оптимизированные по составу ПНЖК. Кривая течения образца 1 отличается от кривых образцов 2 и 3, которые характеризуются переходом в режим ньютоновского течения при более высоких сдвиговых скоростях, что связано с уменьшением размеров структурных элементов дисперсной фазы этих эмульсий.

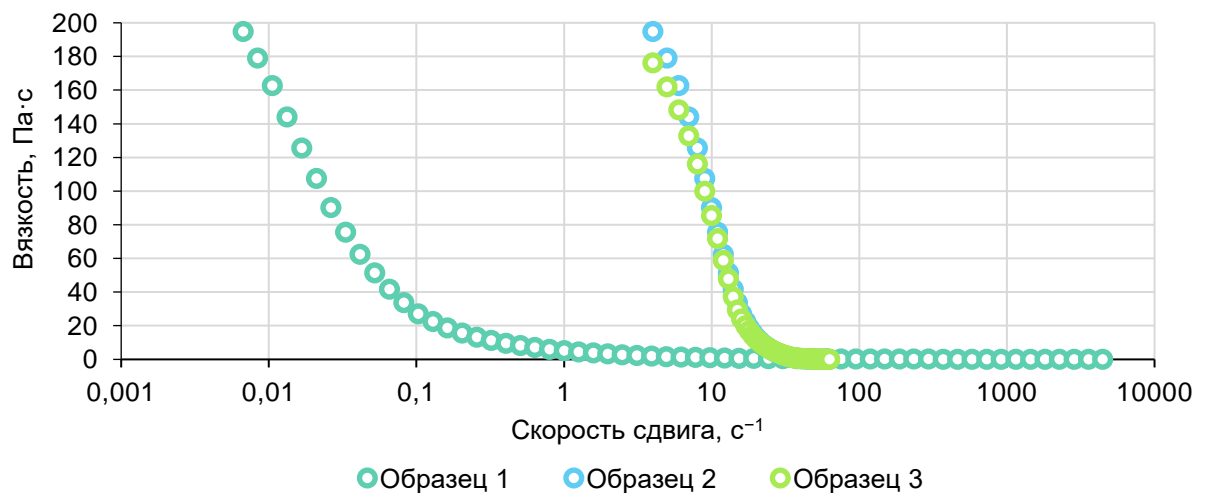


Рисунок 25 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ, основанных на различных купажах масел при температуре 20 °С

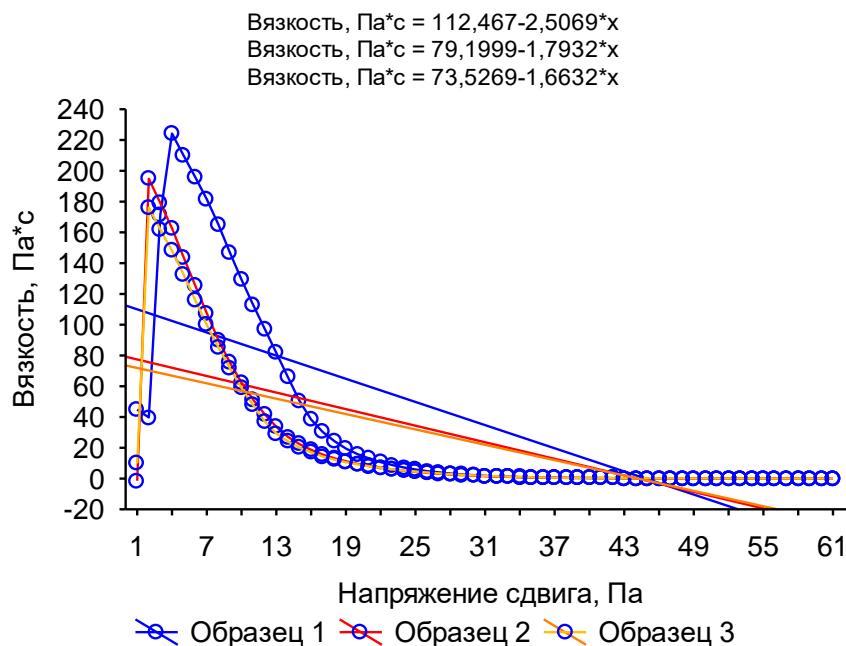


Рисунок 26 – Влияние композиционного состава масляной фазы на вязкость БЭФ

При этом композиционный состав не оказывает влияния на вязкость БЭФ (рисунок 26).

Исследования вязкости БЭФ проводили при температурах 20 °С и 30 °С, возможных критических температурах для хранения и реализации пищевых систем.

На рисунке 27 представлены кривые течения БЭФ образцов 1–3 с различной комбинацией масел в жировой фазе, а на рисунке 28 – кривые течения образцов 3–5, различающихся продолжительностью ультразвукового диспергирования.

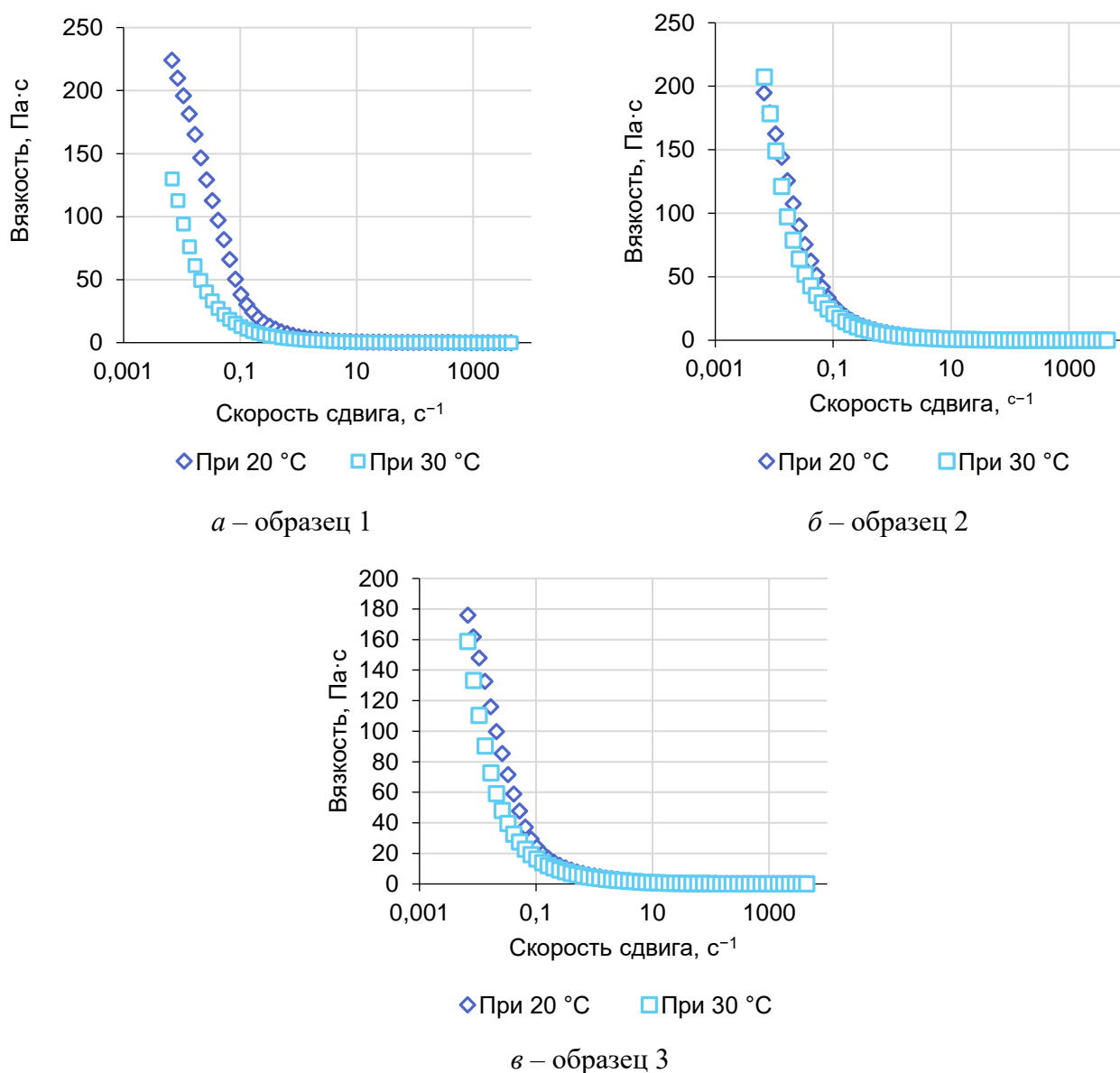


Рисунок 27 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ при температурах 20 °С и 30 °С

Для образца 1 при 20 °С показатель вязкости выше при одинаковых низких значениях сдвиговых скоростей, чем при температуре 30 °С, дисперсная структура в них с повышением температуры становится менее прочной и легче разрушается при одинаковой скорости деформации. У образцов 2 и 3 кривые течения при различных температурах практически совпадают.

Из рисунка 28 следует, что температура не оказывает влияния на вязкость БЭФ, полученных с помощью различной продолжительности ультразвукового диспергирования.

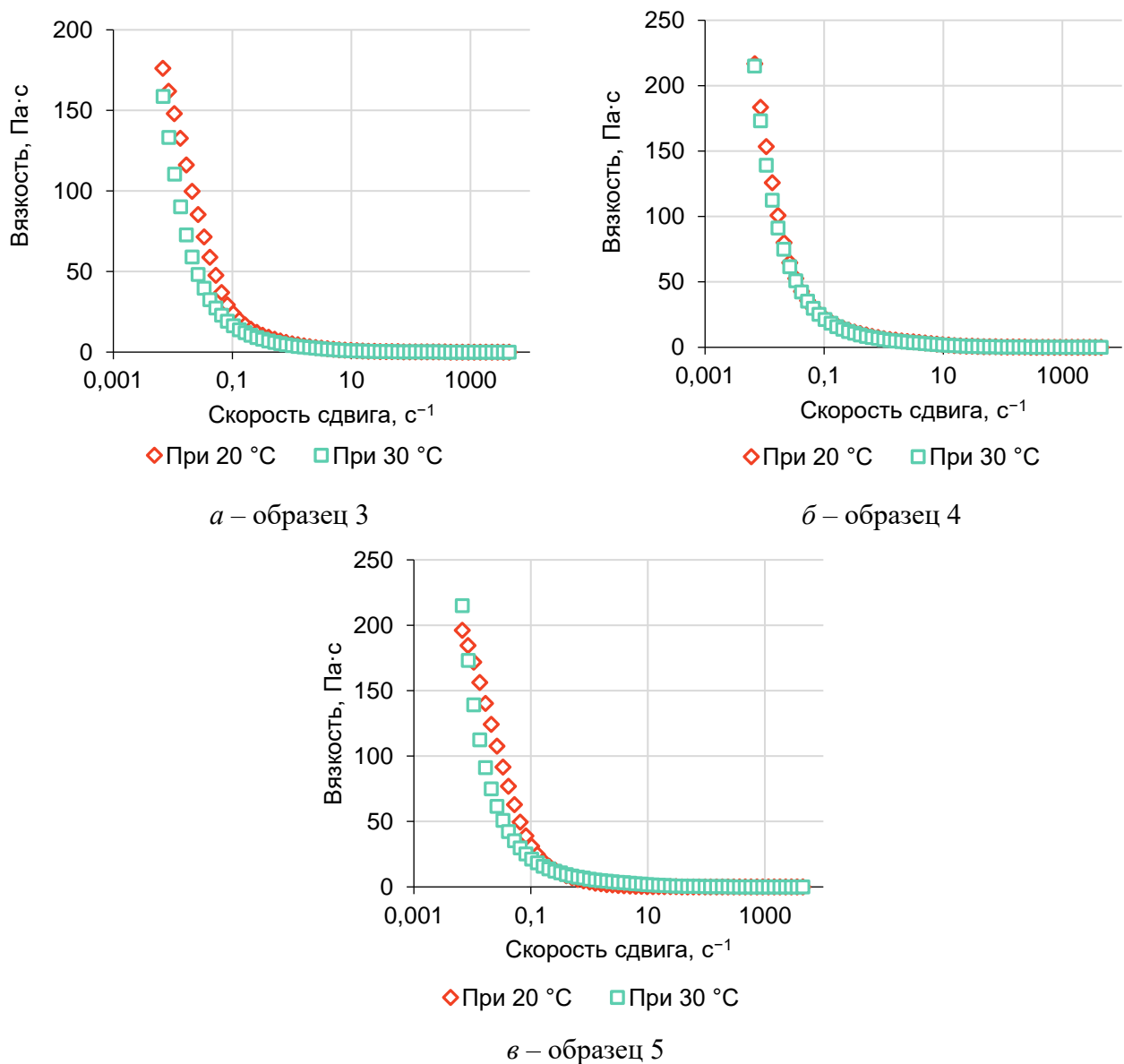


Рисунок 28 – Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига БЭФ при температурах 20 °С и 30 °С

Таким образом, исследования влияния ультразвукового диспергирования на реологические параметры БЭФ показывают, что с увеличением продолжительности ультразвукового диспергирования с 3 до 5 мин и 10 мин вязкость изменялась незначительно. При этом исследования, проведенные ранее, показали, что для формирования необходимой морфологии и стойкости БЭФ нет необходимости в продолжительном диспергировании ультразвуком. В связи с этим применение более длительного процесса ультразвукового диспергирования не оправдано, так как не оказывает существенного влияния на структурно-механические свойства эмульсий при увеличении затрат на его применение.

Температура также не оказывает существенного влияния на реологические параметры БЭФ, кривые течения при 20 °С и 30 °С практически совпадают.

Исследования влияния композиционного состава масел, оптимизированных по соотношению ПНЖК на реологические параметры БЭФ, показали отсутствие существенных различий в их реологическом поведении. Кривые течения проявляют неньютоновские свойства. Использование различных комбинаций масел, оптимизированных по соотношению ПНЖК, формируя функциональную направленность, БЭФ не повлияет на его структурно-механические свойства.

4.3 Технология биоактивных эмульсионных пищевых систем

На рисунке 29 схематически представлены варианты БЭПС, которые были сформированы по технологии двойных эмульсий вода/масло/вода (В/М/В) и масло/вода/масло (М/В/М).

В качестве БЭФ используются либо прямая, либо обратная эмульсии. На основе анализа степени влияния факторов на формирование БЭПС (технологической и органолептической совместимости, степени взаимного влияния эмульсионной пищевой системы и фортификаката) сформирована выборка пищевых систем для фортификации биоактивных дисперсных комплексов.

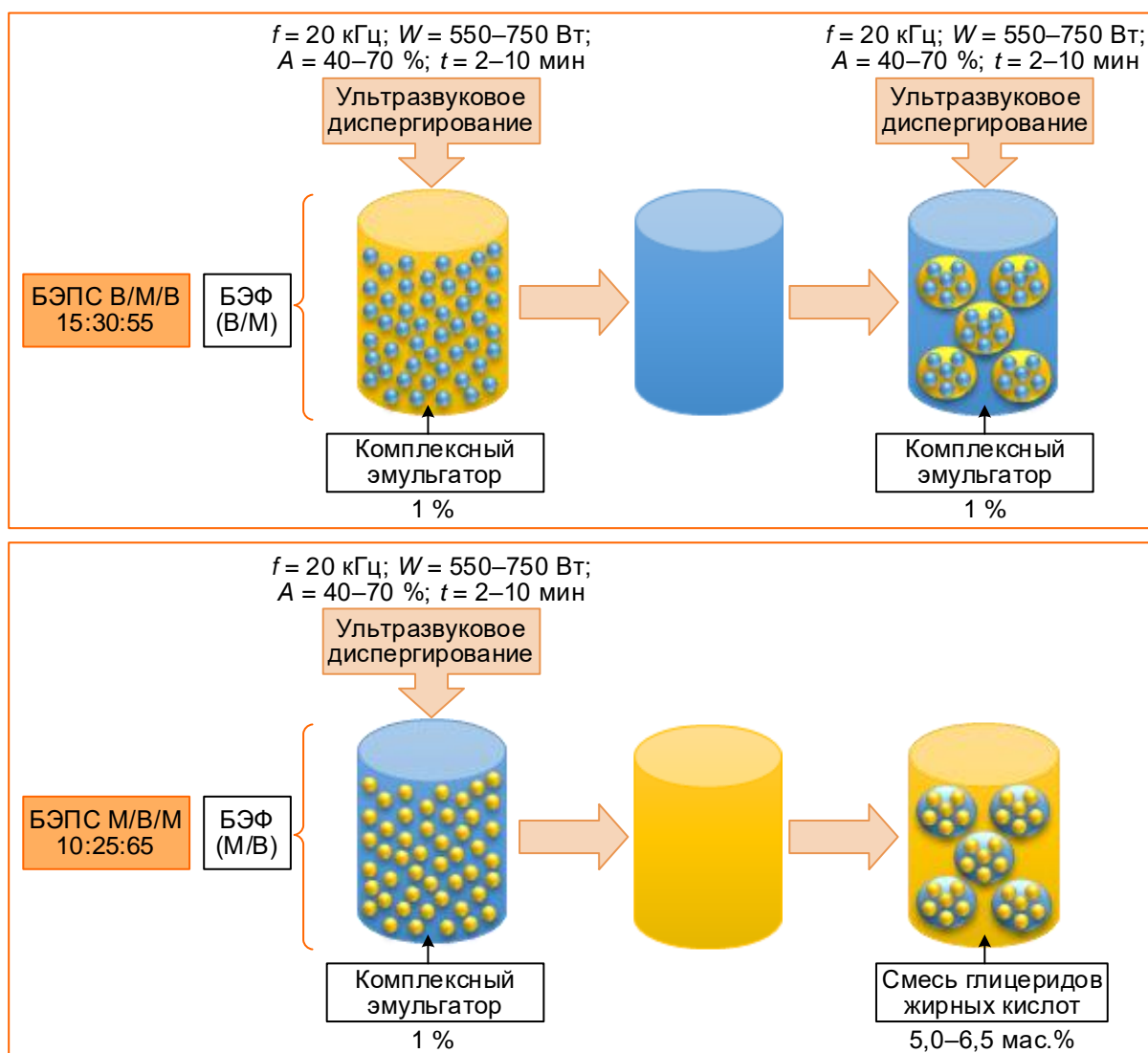


Рисунок 29 – Варианты БЭПС

Технология приготовления БЭПС включает следующие стадии:

– получение БЭФ путем комбинирования биоактивной масляной фазы с биоактивной водной фазой, добавление комплексного эмульгатора и ультразвукового диспергирования при рабочей частоте 20 кГц, мощности 600 Вт и амплитуде 50 % в течение 10 мин для получения стабилизированной тонкодисперсной прямой или обратной эмульсии;

а) фортификация БЭФ, представляющего собой прямую эмульсию, в водную пищевую систему в присутствии эмульгатора, диспергирование путем ультразвукового диспергирования при рабочей частоте 20 кГц, мощности 600 Вт и амплитуде 50 % в течение 10 мин;

б) фортификация БЭФ, представляющего собой обратную эмульсию, в масляную пищевую систему в присутствии эмульгатора – смеси глицеридов жирных кислот, диспергирование путем перемешивания в гомогенизаторе при низких оборотах.

В случае «б» БЭФ необходимо осторожно диспергировать во внешней дисперсионной среде – масляной пищевой системе для формирования необходимой структуры БЭПС – М/В/М.

Опытным путем были определены вид применяемого липофильного эмульгатора – смесь глицеридов жирных кислот, его количество – 5,0–6,5 мас.%, обеспечивающие необходимые органолептические и физико-химические характеристики БЭПС: внешний вид и консистенцию, а также стойкость эмульсии (таблица 10).

Таблица 10 – Исследование зависимости качественных характеристик БЭПС М/В/М от количества эмульгатора и технологии диспергирования

Количество эмульгатора (смесь глицеридов жирных кислот), мас.%	Технология диспергирования	Внешний вид и консистенция	Стойкость эмульсии
1,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, быстро расслаивающаяся с течением времени	92,7
1,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, быстро расслаивающаяся с течением времени	93,5
2,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, быстро расслаивающаяся с течением времени	94,0
2,5	Ультразвуковое диспергирование	неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, быстро расслаивающаяся с течением времени	94,1

Продолжение таблицы 10

Количество эмульгатора (смесь глицеридов жирных кислот), мас.%	Технология диспергирования	Внешний вид и консистенция	Стойкость эмульсии
3,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, расслаивающаяся с течением времени	95,6
3,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, расслаивающаяся с течением времени	96,0
4,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, быстро расслаивающаяся с течением времени	96,8
4,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, расслаивающаяся с течением времени	97,0
5,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	97,9
5,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	однородная густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	98,5
6,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	99,1

Продолжение таблицы 10

Количество эмульгатора (смесь глицеридов жирных кислот), мас.%	Технология диспергирования	Внешний вид и консистенция	Стойкость эмульсии
6,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	99,7
7,0	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная достаточно густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	99,8
7,5	Ультразвуковое диспергирование	Неоднородная масса с отделившимся слоем масла на поверхности	Не определялась
	Гомогенизация при низких оборотах	Однородная, излишне густая масса, не расслаивающаяся с течением времени	99,8

Заданные функциональные свойства БЭПС обеспечиваются за счет масляной фазы, представляющей собой комплекс масел, сбалансированных по составу ПНЖК, во внутреннюю фазу матрицы БЭПС инкапсулируются соответствующие БАВ с учетом гидрофильных/липофильных свойств. Составы БЭПС представлены в таблице 11. БЭПС представляли собой вязкие непрозрачные жидкости молочно-белого цвета.

Таблица 11 – Состав БЭПС М/В/М и В/М/В

Фаза	Компонент	Массовая доля фазы, %
М/В/М		
Внутренняя дисперсная фаза (М)	Купаж масел 1 (2)	10–15
Промежуточная водная фаза	Вода, водорастворимые БАВ (варианты), комплексный эмульгатор	25
Внешняя дисперсионная среда (М)	Купаж масел 3 (4), смесь глицеридов жирных кислот	60–65

Продолжение таблицы 11

Фаза	Компонент	Массовая доля фазы, %
В/М/В		
Внутренняя дисперсная фаза (В)	Вода, водорастворимые БАВ (варианты), комплексный эмульгатор	10–15
Промежуточная масляная фаза	Купаж масел 1 (2)	30
Внешняя дисперсионная среда (В)	Вода	55–60

Исследования показали, что оптимальными соотношениями внутренней водной фазы к масляной фазе являются соотношения, находящиеся в пределах от 20:80 до 35:65 по массе. Оптимальными соотношениями внутренней фазы – прямой эмульсии к внешней фазе являются соотношения от 15:85 до 45:55 по массе.

В результате проведенных исследований были получены БЭПС двух типов М/В/М при соотношении фаз 10–15:25:60–65 и В/М/В при соотношении фаз 10–15:30:55–60 с использованием ультразвукового диспергирования, комплексного эмульгатора и купажей масел.

4.4 Качественная характеристика БЭПС

В ходе дальнейших исследований изучали характеристики полученных БЭПС.

Снимки, полученные методом оптической микроскопии, позволили получить визуальное представление структуры БЭПС.

На рисунке 30 представлена микрофотография БЭПС М/В/М, полученная методом оптической микроскопии. Морфологически БЭПС представляет собой капли со сложным внутренним строением в виде более мелких капель, что типично для двойных эмульсий. Капли имеют неправильную форму в результате коалесценции вследствие наложения покровного стекла.

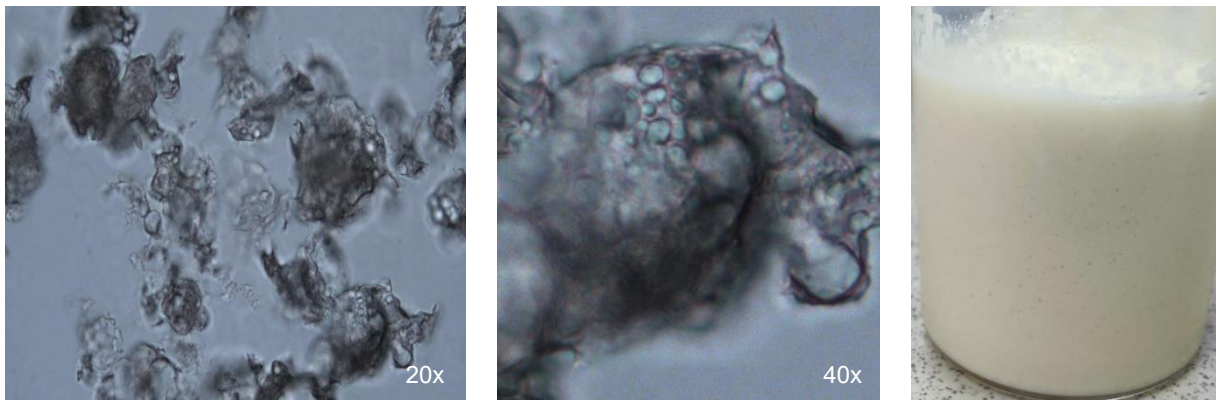


Рисунок 30 – Морфология БЭПС М/В/М

Распределение капель по размеру представлено на рисунке 31.

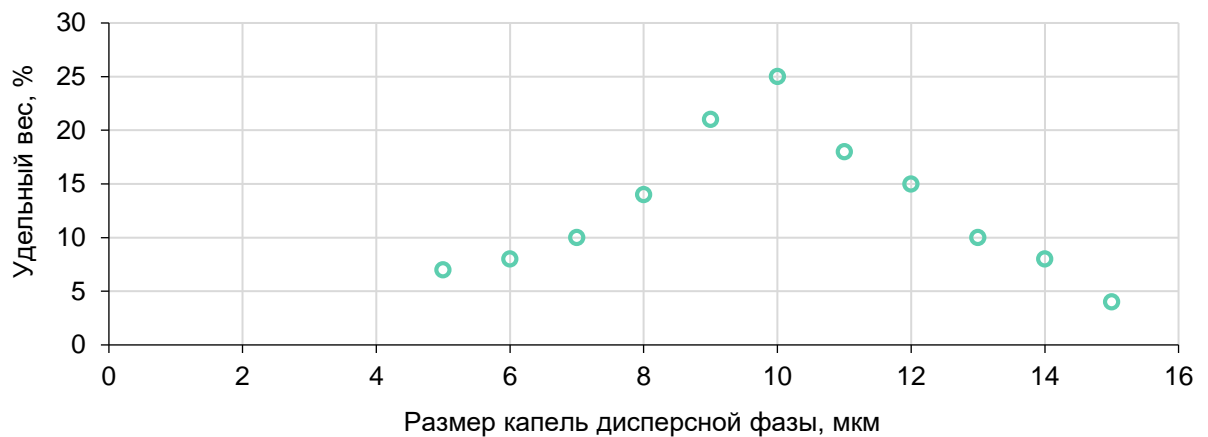


Рисунок 31 – Размер и распределение капель дисперсной фазы БЭПС М/В/М

В структуре БЭПС видны отдельные капли размером от 5 до 15 мкм.

С целью определения структурных особенностей и перспектив использования БЭПС в качестве основы матриц эмульсионных пищевых продуктов, проведены реологические исследования свежеприготовленных образцов БЭПС (рисунки 30, 33).

БЭПС являются вязкоупругими жидкостями. Рисунок 32 демонстрирует не-ньютоновское поведение, которое в большей степени определяется реологическими свойствами внешней дисперсионной среды, т. е. характеристика вязкоупругих свойств внешней дисперсионной среды является основным фактором, влияющим на стабилизацию БЭПС.

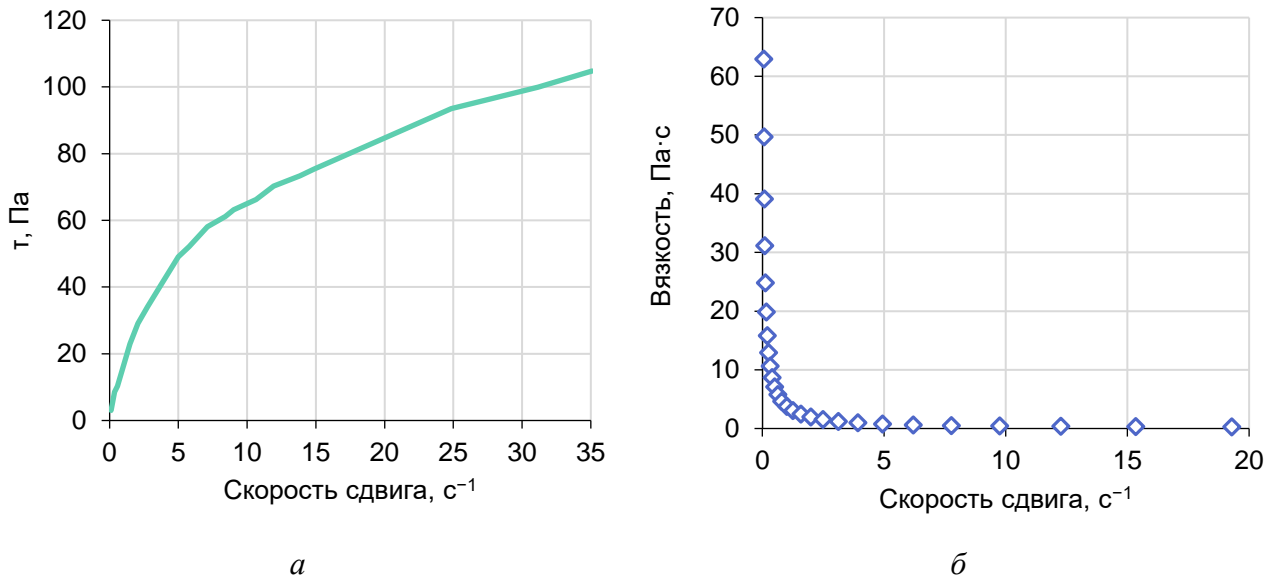


Рисунок 32 – Кривые течения (а) и вязкости (б) БЭПС М/В/М

На рисунке 33 представлена микрофотография БЭПС В/М/В, полученная методом оптической микроскопии.

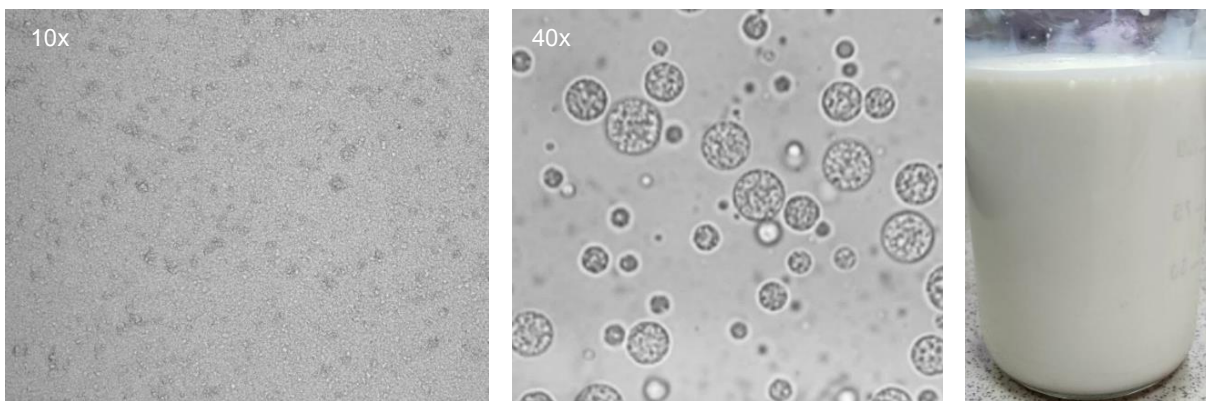


Рисунок 33 – Морфология БЭПС В/М/В

На рисунке 33 отчетливо видна трехслойная структура, включающая внутреннюю водную фазу, окруженную масляной фазой, и масляную фазу, покрытую внешней водной средой.

Распределение капель БЭПС В/М/В по размерам представлено на рисунке 34. Результаты указывают на ультрадисперсность БЭПС, диаметр капель D_i находится в диапазоне от 2 до 15 мкм.

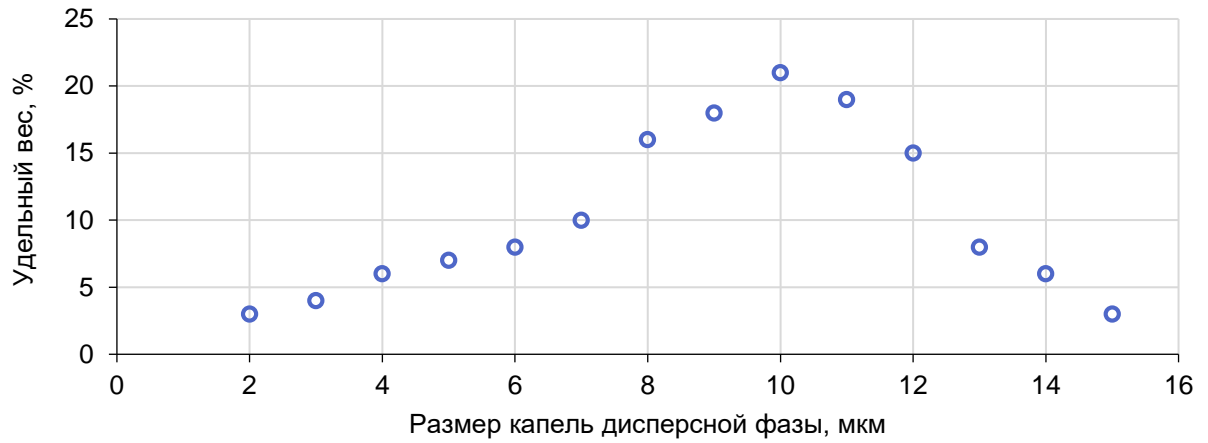


Рисунок 34 – Размер и распределение капель дисперсной фазы БЭПС В/М/В

Результаты исследования реологических параметров БЭПС (рисунок 35) указывают на то, что они характеризуются низкой вязкостью и ньютоновской текучестью. Наблюдается сдвиговое разжижение и значительные нормальные напряжения, в том числе при высоких скоростях.

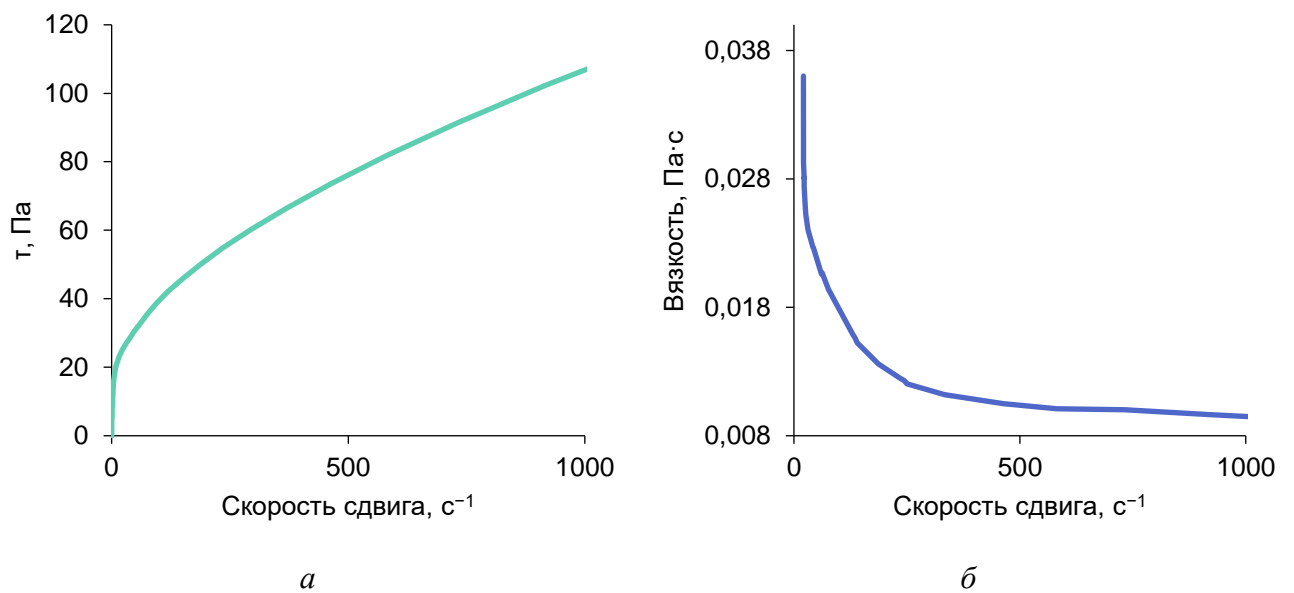


Рисунок 35 – Кривые течения (а) и вязкости (б) БЭПС В/М/В

Результаты статистической обработки данных представлены в таблице 12.

Как показывают результаты ANOVA, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии модельных образцов БЭПС (сила влияния более 99, $p < 0,01$). Степень рассеивания значений незначительна.

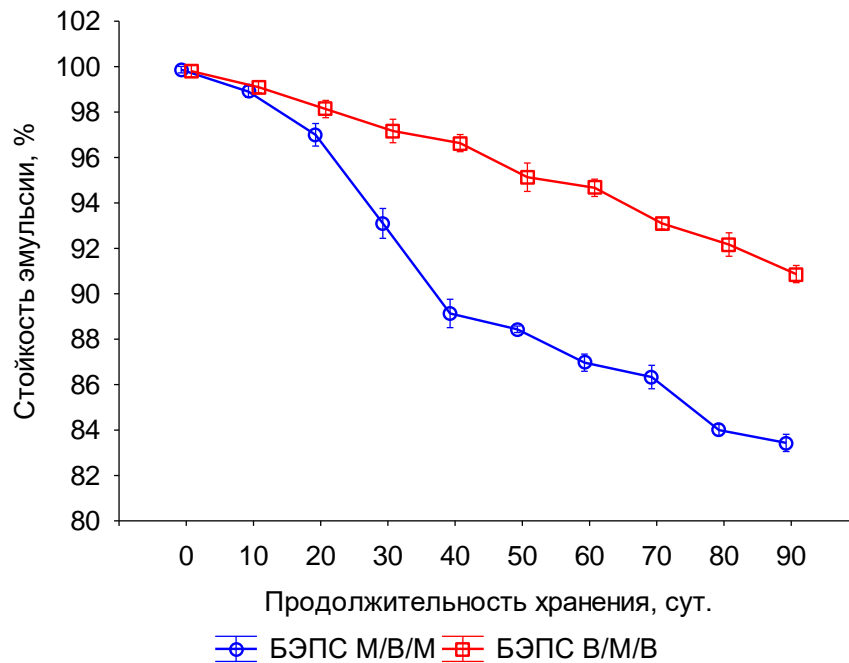


Рисунок 36 – Динамика стойкости эмульсии БЭПС М/В/М и В/М/В в процессе хранения

Таблица 12 – Результаты статистической обработки данных

Срок хранения, сут	Стойкость эмульсии, %			
	БЭПС М/В/М	V, %	БЭПС В/М/В	V, %
0	99,87 ± 0,06 ^{b-j}	0,06	99,80 ± 0,10 ^{b-j}	0,10
10	98,90 ± 0,10 ^{ac-j}	0,10	99,10 ± 0,10 ^{ac-j}	0,10
20	97,00 ± 0,20 ^{abd-j}	0,21	98,13 ± 0,15 ^{abd-j}	0,16
30	93,10 ± 0,26 ^{abce-j}	0,28	97,17 ± 0,21 ^{abce-j}	0,21
40	89,13 ± 0,25 ^{a-df-j}	0,28	96,63 ± 0,15 ^{a-de-j}	0,16
50	88,43 ± 0,06 ^{a-ig-j}	0,07	95,13 ± 0,25 ^{a-eh-j}	0,26
60	86,97 ± 0,15 ^{a-fhj}	0,18	94,67 ± 0,15 ^{a-eh-j}	0,16
70	86,33 ± 0,21 ^{a-gij}	0,24	93,10 ± 0,10 ^{a-hij}	0,11
80	84,0 ± 0,10 ^{a-hj}	0,12	92,17 ± 0,21 ^{a-hj}	0,23
90	83,43 ± 0,15 ^{a-i}	0,18	90,87 ± 0,15 ^{a-i}	0,17
Сила влияния, %	99,97 ($p < 0,01$)		99,90 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-j$ – по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,05$)

БЭПС были стабильны в течение 90 сут при температуре $(0 \pm 4) ^\circ\text{C}$. Этому способствовали относительно монодисперсные капли эмульсии, сформированные за счет установленных технологических параметров ультразвукового диспергирования и использования комплексного эмульгатора.

Выводы по главе 4

Для формирования масляной фазы (среды) разработана программа проектирования соотношения жирных кислот, предназначенная для составления оптимальных рецептов БЭФ исходя из соотношения омега-3 и омега-6 жирных кислот на 100 г исходного масла. С использованием разработанного программного продукта была сформирована выборка купажа масел для дисперсной фазы (среды).

Для оценки целесообразности использования ультразвукового диспергирования в технологии БЭФ изучен жирнокислотный состав натурального льняного масла и БЭФ на его основе, обработанных ультразвуком различной продолжительности. В ходе исследования отслеживалось образование радикалов. Результаты исследований показали, что воздействие на БЭФ ультразвуком частотой 20 кГц в течение 10; 20 и 30 мин способно сохранять соотношение жирных кислот. Отклонения значений, характеризующих содержание жирных кислот в БЭФ, обработанных ультразвуком в течение 10; 20 и 30 мин, по сравнению с контрольным образцом – льняным маслом, незначительны (от $(0,02 \pm 0,015) \%$ до $(0,83 \pm 0,015) \%$). Методом электронного парамагнитного резонанса установлено отсутствие свободных радикалов как в контрольном образце – льняном масле, так и в БЭФ, полученных на его основе, диспергированных с помощью ультразвукового воздействия.

Осуществлен подбор БАВ и способ их внесения для формирования биоактивных водной и масляной фазы (среды) на основе характеристик биологической активности, растворимости и стабильности.

Исходя из оптимального значения числа ГЛБ с учетом заданных показателей составлен комплексный эмульгатор, содержащий Tween 80 и лецитин и способствующий получению стабильных, тонкодисперсных БЭФ.

На основе масляной фазы (среды) с заданным соотношением БАВ и биоактивной водной фазы (среды) были сформированы БЭФ. Оптимальные технологические параметры получения БЭФ – мощность, амплитуда, продолжительность воздействия и оптимальное количество вносимого ПАВ – были определены на ос-

нове анализа размера капель дисперсной фазы и стойкости эмульсий. Установлено, что амплитуда 50 % является наиболее эффективной, поскольку полученный при этом размер капель дисперсной фазы минимален. Оптимальное время ультразвукового диспергирования составляет 10 мин при мощности ультразвукового воздействия 600 Вт. Оптимальное количество вносимого комплексного эмульгатора – 1 %. В данных условиях БЭФ характеризуются максимально однородным распределением капель дисперсной фазы, средний диаметр которых находится в пределах от 6,1 до 7,7 мкм. Исследования подтвердили высокую стойкость БЭФ в течение 28 сут.

Исследования влияния ультразвукового диспергирования на реологические параметры БЭФ показывают, что с увеличением продолжительности ультразвукового диспергирования с 3 до 5 мин и 10 мин вязкость изменялась не значительно. Температура также не оказывает существенного влияния на реологические параметры БЭФ, кривые течения при температурах 20 °С и 30 °С практически совпадают.

Исследования влияния композиционного состава масел, оптимизированных по соотношению ПНЖК на реологические параметры БЭФ, показали отсутствие существенных различий в их реологическом поведении.

Основываясь на анализе факторов, влияющих на формирование эмульсионной пищевой системы, сформирована выборка пищевых систем для фортификации биоактивных дисперсных комплексов и разработана технология БЭПС двух типов М/В/М при соотношении фаз 10:25:65 и В/М/В при соотношении фаз 15:30:55 с использованием ультразвукового диспергирования, комплексного эмульгатора и купажей масел.

В ходе исследования были определены оптимальные технологические параметры получения стабильных БЭПС с использованием комплексного эмульгатора на основе Tween 80 (Polysorbate 80) и соевого лецитина: рабочая частота 20 кГц, амплитуда 40–70 %, мощность 55–75 Вт, продолжительность – 2–10 мин. Оптимальное количество комплексного эмульгатора составило 1 %.

Полученные БЭПС имеют морфологию, представляющую собой капли со сложным внутренним строением в виде более мелких капель.

Для БЭПС характерна ультрадисперсность и высокая кинетическая стабильность, диаметр капель находится в диапазоне от 2 до 15 мкм для БЭПС В/М/В и от 5 до 15 мкм для БЭПС М/В/М.

БЭПС были стабильны в течение 90 сут при температуре $(0 \pm 4) ^\circ\text{C}$ за счет установленных технологических параметров ультразвукового диспергирования и использования комплексного эмульгатора.

5 Проектирование БЭПС на основе анализа качественных параметров

5.1 Формирование органолептического профиля БЭПС

Главной задачей при производстве пищевых систем, фортифицированных БАВ, является обеспечение их стабильности и формирование органолептического профиля, соответствующего предпочтениям потребителей.

Отдельные БАВ обладают не только низкой стабильностью, но и органолептическими характеристиками, ухудшающими качество фортифицируемой пищевой системы. В качестве таких ингредиентов, например, могут выступать рыбий жир, кунжутное масло, льняное масло, являющиеся основными источниками ω -3 ПНЖК. При высокой чувствительности жирных кислот к свету, температуре и кислороду, следствием которой является быстрое окисление с образованием свободных радикалов и появление неприятных вкуса и запаха данные ингредиенты характеризуются специфическим вкусом и запахом. Это отрицательно сказывается на сохранности пищевых продуктов и пригодности их к употреблению, что ограничивает их использование для фортификации пищевых систем и обуславливает необходимость их инкапсулирования перед включением в пищевые продукты [158; 361].

Ряд исследований подтверждает эффективность инкапсулирования нестойких ингредиентов с низкими органолептическими характеристиками при обогащении ими пищевых продуктов [165; 189; 230; 250; 253; 301; 311; 323; 324; 362; 364; 365; 374].

БЭПС, сформированные по технологии двойных эмульсий, представляют интерес в связи с возможностью их применения с нестабильными функциональными ингредиентами, снижающими органолептическую характеристику готовых продуктов [376]. Основные преимущества этой формы инкапсулирования заключаются в

том, что процесс происходит при относительно низких температурах, и, следовательно, ингредиенты не подвергаются значительному окислению перед инкапсулированием с одной стороны, с другой стороны оно позволяет скрыть специфические органолептические характеристики вносимых ингредиентов. Эффективность инкапсулирования с помощью двойных эмульсий подтверждена исследованиями в области разработки лекарственных и ферментных препаратов, косметических средств [31; 177; 229; 232; 265; 307; 331; 380]. Однако она является относительно новой для пищевой промышленности. Большинство исследований, посвященных двойным эмульсиям, были ограничены типом В/М/В. Несмотря на то, что эмульсии М/В/М также могут использоваться для инкапсулирования и контролируемого высвобождения нестабильных ингредиентов, их применение ограничено из-за практической сложности приготовления стабильной внешней эмульсии В/М [376].

В рамках работы исследовали влияние инкапсулирования БАВ в эмульсии на формирование органолептического профиля БЭПС и устойчивость к окислению (результаты представлены в параграфе 5.2). Несмотря на то, что разрабатываемые БЭПС предполагается использовать в качестве основы для эмульсионных пищевых продуктов, в рамках исследования использовали сами основы без добавления вкусоароматических и других добавок для более достоверного выявления степени влияния инкапсулирования на органолептические характеристики и устойчивость к окислению. Для чистоты эксперимента в качестве масляной фазы БЭПС и контрольных образцов вместо купажей масел использовали масло подсолнечное рафинированное дезодорированное.

Во внутреннюю фазу матрицы БЭПС В/М/В вводили 0,5 мас.% витамина В₁, а БЭПС М/В/М – 10 мас.% рыбьего жира.

В качестве контроля использовали прямую эмульсию с добавлением витамина В₁ и обратную эмульсию с добавлением рыбьего жира в том же количестве, что и в БЭПС.

Полученные образцы помещали в стерильные полимерные банки с закручивающимися крышками.

Для органолептической оценки использовались свежеприготовленные образцы БЭПС и контрольные образцы.

В ходе сравнительного органолептического анализа контрольного образца – обратной эмульсии и БЭПС М/В/М были получены следующие результаты. Контрольный образец имел более гомогенную и плотную и вязкую консистенцию по сравнению с БЭПС М/В/М (рисунок 37), что свойственно двойным эмульсиям со структурой «эмульсия в эмульсии».

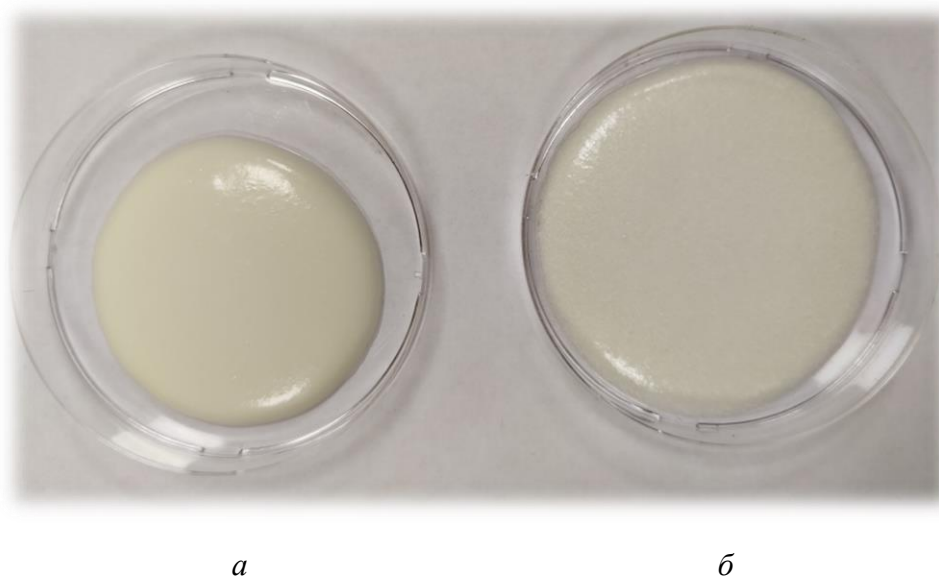


Рисунок 37 – Обратная эмульсия (а) и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром (б)

Цвет контрольного образца и БЭПС с рыбьим жиром – белый, однако, контрольный образец имел выраженный желтый оттенок, свойственный рыбьему жиру. Это позволяет сделать вывод о том, что введение рыбьего жира в БЭПС препятствует появлению оттенка, свойственного вносимому ингредиенту.

На рисунке 38 представлены органолептические профили контрольного образца и БЭПС М/В/М.

Интенсивность запаха контрольного образца – обратной эмульсии получила максимальный балл, тогда как у БЭПС она была незначительной, запах рыбьего жира при его инкапсулировании в БЭПС практически не ощущается.

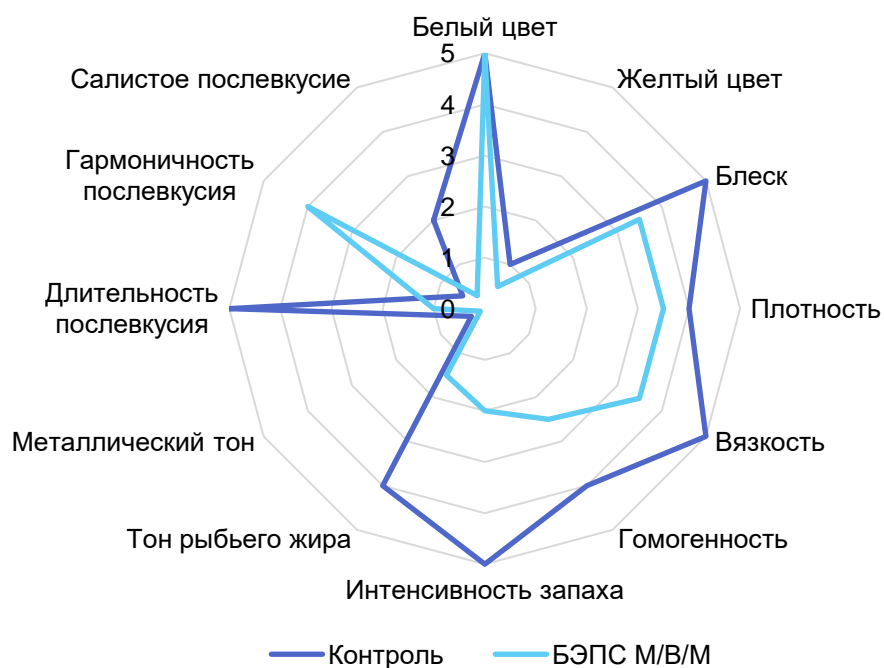


Рисунок 38 – Органолептические профили обратной эмульсии и БЭПС M/V/M с рыбьим жиром

Данная тенденция прослеживается и по показателям, характеризующим вкус эмульсий. Вкус контрольного образца концентрировался на корне языка, имел выраженный тон рыбьего жира (4 балла), характеризовался очень насыщенным, долгим послевкусием рыбьего жира (120 каудаль), негармоничным и слегка салистым.

При анализе вкуса БЭПС было выявлено, что вкус концентрируется на средней части языка, поэтому интенсивность послевкусия выражена меньше (30–40 каудаль), оно гармоничное (4 балла), его длительность непродолжительная (1 балл), отсутствует салистое послевкусие, тон рыбьего жира выражен незначительно.

Сравнительный органолептический анализ контрольного образца – прямой эмульсии с витамином В₁ и БЭПС В/М/В с витамином В₁, показал следующие результаты.

Контрольный образец имел менее гомогенную консистенцию по сравнению с БЭПС В/М/В и белый цвет (рисунок 39). Это связано с применением ультразвукового диспергирования, способствующего получению тонкодисперсных эмульсий [125].

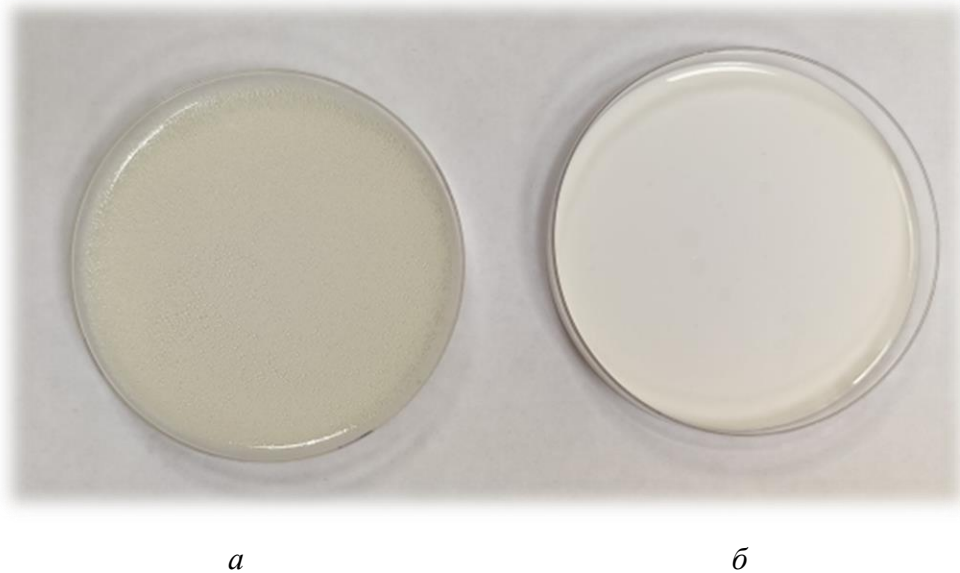


Рисунок 39 – Прямая эмульсия (а) и БЭПС В/М/В с витамином В₁ (б)

По вязкости и плотности образцы имели сходные характеристики и получили одинаковое количество баллов при оценке (рисунок 40).

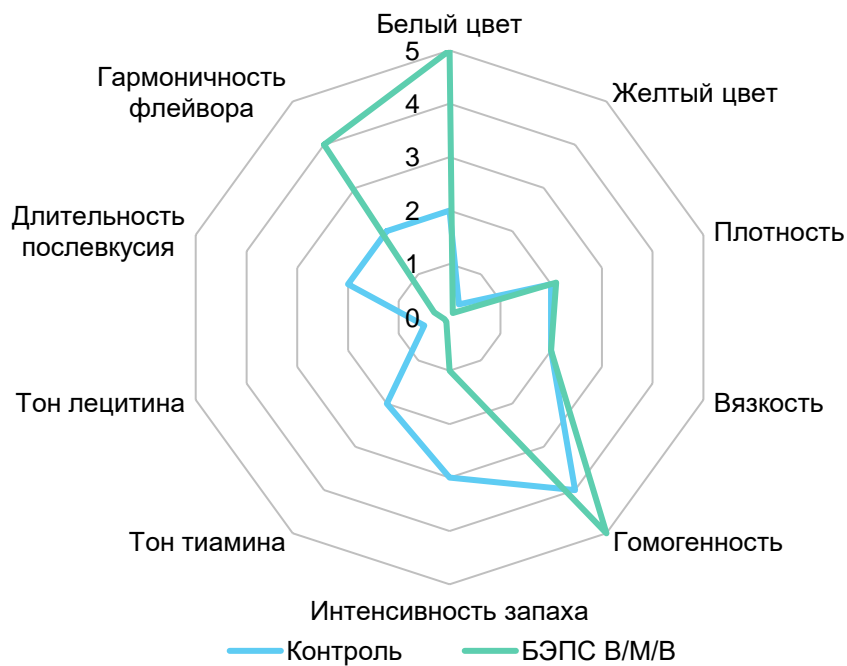


Рисунок 40 – Органолептические профили прямой эмульсии и БЭПС В/М/В с витамином В₁

Интенсивность запаха более выражена у контрольного образца, разница в значениях в сравнении с БЭПС составила 2 балла. Тон тиамин присутствовал в боль-

шей степени у контрольного образца, оба образца характеризовались незначительно выраженным тоном лецитина. Длительность послевкусия у обоих образцов находилась на одном уровне. БЭПС имела более гармоничный флейвор – 4 балла, что на 2 балла превышало значение по данному показателю у контрольного образца.

Сравнительный органолептический анализ обратной эмульсии с рыбьим жиром и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром, а также прямой эмульсии с витамином В₁ и БЭПС В/М/В с витамином В₁, показал преимущества инкапсулирования БАВ для формирования органолептического профиля эмульсионных пищевых систем. Инкапсулирование рыбьего жира и витамина В₁ во внутреннюю фазу матрицы БЭПС позволяет предотвратить появление нежелательных запаха, вкуса и послевкусия, свойственных БАВ, а также коррекции его цвета.

5.2 Исследование устойчивости к окислению БЭПС

Следующим этапом исследований являлся сравнительный анализ устойчивости к окислению обратной эмульсии и БЭПС с рыбьим жиром по значениям перекисного числа в динамике при хранении. Значения перекисного числа были получены на 1; 7; 14; 21; 28 и 35-е сутки хранения исследуемых образцов (рисунок 41).

В результате анализа было установлено, что срок хранения оказывал значимое влияние на изменение перекисного числа как контрольного образца, так и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром (сила влияния 100 %, $p < 0,01$). У контрольного образца его значение через 7; 14; 21; 28 и 35 сут хранения увеличилось в среднем в 1,31; 2,69; 3,92; 5,0 и 6,08 раза от первоначального значения. Тогда как значение перекисного числа БЭПС через аналогичные периоды хранения увеличилось в 1,15; 2,15; 3,31; 3,77 и 3,92 раза. Действительная разница в значениях для обратной эмульсии и БЭПС начинается с седьмых суток, а между первыми и седьмыми находится в пределах ошибки опыта.

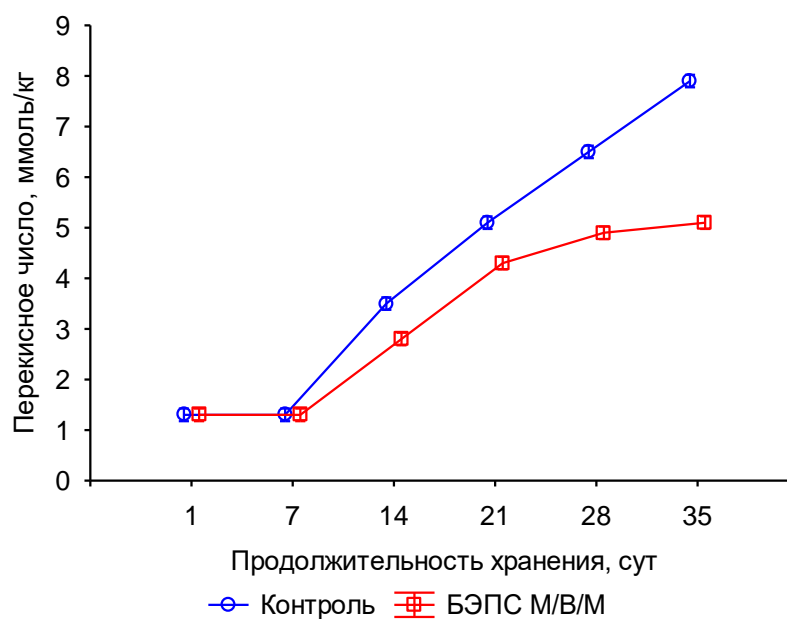


Рисунок 41 – Динамика перекисного числа обратной эмульсии и БЭПС М/В/М с рыбьим жиром в процессе хранения

Статистические данные (таблица 13) показывают, что степень рассеивания значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на перекисное число обратной эмульсии и БЭПС (сила влияния 100 %, $p < 0,01$).

Таблица 13 – Результаты статистической обработки данных

Срок хранения, сут	Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг жира			
	Обратная эмульсия (контроль)	V, %	БЭПС М/В/М	V, %
1	1,30 ± 0,03 ^{bcdef}	2,3	1,30 ± 0,03 ^{bcdef}	2,3
7	1,73 ± 0,02 ^{acdef}	1,16	1,53 ± 0,022 ^{acdef}	1,31
14	3,50 ± 0,03 ^{abdef}	0,86	2,80 ± 0,03 ^{abdef}	1,07
21	5,10 ± 0,03 ^{abcef}	0,59	4,30 ± 0,03 ^{abcef}	0,70
28	6,50 ± 0,03 ^{abcdf}	0,46	4,90 ± 0,03 ^{abcdf}	0,61
35	7,90 ± 0,03 ^{abcde}	0,38	5,10 ± 0,03 ^{abcde}	0,59
Сила влияния, %	100,0 ($p < 0,01$)		100,0 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a–f по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).				

Разница между значениями перекисного числа для обратной эмульсии и БЭПС ($p < 0,01$) на 14-е сутки составила 25 %, на 21-е сутки – 18,6 %, на 28-е сутки –

32,65 %, на 35-е сутки – 54,9 %. На 1-е и 7-е сутки разница между значениями не существенна.

Из ингредиентов, имеющих в составе исследуемых образцов, окислению подвержены масло подсолнечное и рыбий жир. В связи с тем, что окисление ПНЖК происходит более активно, а по их содержанию рыбий жир превосходит подсолнечное масло, несмотря на их соотношение в рецептуре, полученные результаты в большей степени можно проецировать на устойчивость к окислению рыбьего жира, чем подсолнечного масла.

Анализируя динамику, представленную на рисунке 41, можно сделать вывод, что рыбий жир в матрице БЭПС М/В/М, более устойчив к окислительным процессам в сравнении с рыбьим жиром, введенным в обратную эмульсию. Кроме того, в процессе хранения интенсивность окисления жира контрольного образца увеличивается в большей степени, чем жира БЭПС.

Инкапсулирование рыбьего жира в матрицу БЭПС способствует устойчивости его к окислению, а также снижению степени и интенсивности окислительных процессов [221].

5.3 Исследование микробиологических показателей биоактивных эмульсионных пищевых систем

На сегодняшний день риски, связанные с качеством и безопасностью пищевых систем, являются одной из наиболее значимых биологических угроз, обусловленной ростом числа заболеваний. Качество и безопасность пищевых систем напрямую зависит от их микробиологического состояния.

Особое значение приобретает исследование микробиологических показателей при разработке новых пищевых систем, гигиенические нормативы для которых не установлены ввиду использования новых технологий и комбинирования сырья.

Кроме того, важным аспектом при разработке новых пищевых систем является изучение степени влияния различных факторов на микробиологические показатели безопасности.

Проведенные микробиологические исследования по показателям безопасности: санитарно-значимым (КМАФАнМ, БГКП), патогенным (*Salmonella*) и микроорганизмам порчи (плесневые грибы и дрожжи) БЭПС В/М/В и контрольного образца – прямой эмульсии характеризовались отсутствием роста (таблица 14).

Таблица 14 – Сравнительный анализ динамики микробиологических показателей БЭПС В/М/В и контрольного образца – прямой эмульсии (М/В) в процессе хранения

Показатель	Контроль М/В			БЭПС В/М/В		
	Продолжительность хранения, сут					
	7	14	21	7	14	21
КМАФАнМ, КОЕ/г	Нет роста			Нет роста		
БГКП	–			–		
<i>Salmonella</i>	Не выявлено			Не выявлено		
Плесневые грибы, КОЕ/г	Нет роста			Нет роста		
Дрожжи, КОЕ/г	Нет роста			Нет роста		

В процессе хранения не выявлен рост неспорообразующих бактерий группы кишечных палочек, в том числе патогенные бактерии рода *Salmonella*. БЭПС М/В/М и контрольного образца – обратной эмульсии (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительный анализ динамики микробиологических показателей БЭПС М/В/М и контрольного образца – обратной эмульсии (В/М) в процессе хранения

Показатель	Контроль В/М			БЭПС М/В/М		
	Продолжительность хранения, сут					
	7	14	21	7	14	21
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1,64 \cdot 10^5$	$13,6 \cdot 10^5$	$54,7 \cdot 10^5$	$1,23 \cdot 10^5$	$1,68 \cdot 10^5$	$2,50 \cdot 10^5$
БГКП	–					
<i>Salmonella</i>	Не выявлено					
Плесневые грибы, КОЕ/г	Нет роста					
Дрожжи, КОЕ/г	Нет роста	$0,86 \cdot 10^4$	$7,84 \cdot 10^4$	Нет роста	Нет роста	$1,04 \cdot 10^4$

Грибная микробиота данных эмульсионных пищевых систем характеризовалась отсутствием роста. Установлен рост в процессе хранения мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, причем в контрольном образце их количество было больше, а рост более интенсивный. Рост дрожжей у контрольного образца произошел на 14-е сутки хранения, и на 21-е сутки их количество значительно увеличилось, тогда как у БЭПС М/В/М рост дрожжей наблюдался только на 21-е сутки.

Присутствие и рост данной микрофлоры в БЭПС М/В/М и контрольного образца (обратной эмульсии) можно объяснить использованием жидкого эмульгатора промышленного производства. Меньшее количество микроорганизмов в БЭПС М/В/М и меньший темп их роста в сравнении с контролем объясняется использованием ультразвукового диспергирования в технологии приготовления первой.

На следующем этапе проводили анализ влияния факторов «срок хранения» (фактор А) и «вид эмульсии» (фактор В) на микробную контаминацию эмульсионных пищевых систем (приложение Г). Результаты представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты анализа влияния факторов на контаминацию эмульсионных пищевых систем

Срок хранения (фактор А), сут	Тип эмульсии (фактор В)	
	В/М	БЭПС М/В/М
Среднее количество МАФ _{АнМ} , ·10 ⁵ КОЕ/г		
7	1,64	1,23
14	13,6	1,68
21	54,7	2,50
Влияние фактора, %	А = 28,52; В = 23,90; АВ = 47,58	
<i>HCP</i> _{0,5}	А = 8,9; В = 13,1; АВ = 0 при <i>p</i> = 0,05	
Среднее количество дрожжей, ·10 ⁴ КОЕ/г		
7	0	0
14	0,86	0
21	7,84	1,04
Влияние фактора, %	А = 20,29; В = 37,29; АВ = 42,42	
<i>HCP</i> _{0,5}	А = 0,17; В = 0,26; АВ = 0 при <i>p</i> = 0,05	

Степень влияния фактора А на КМАФАНМ составила 28,52 %, фактора В – 23,90 %. Наиболее существенное влияние оказывало их взаимодействие – 47,58 %.

Изучение уровня контаминации образцов эмульсионных пищевых систем в процессе хранения дрожжами показало, что влияние срока хранения (фактор А) составило 20,29 %, влияние типа эмульсии (фактор В) было выше и составило 37,29 % вариации изучаемого признака. Как и в формировании значения показателя «КМАФАНМ», существенное влияние выявлено во взаимодействии данных факторов, которое составило 42,42 % [119].

5.4 Установление сроков годности биоактивных эмульсионных пищевых систем с использованием метода ASLT

Установление срока годности пищевых систем предполагает проведение продолжительных по времени и трудоемких исследований, включающих три основных этапа. На первом этапе определяются ключевые факторы, приводящие к снижению качества и их предельные значения. На втором этапе оценивается динамика значений выбранных показателей качества в экспериментальных или реальных условиях с течением времени. Помимо моделирования ожидаемых условий хранения пищевых систем (установление срока годности в реальном времени), оценку можно проводить в условиях, которые способствуют ускорению скорости химических процессов, протекающих в пищевых системах (ускоренное старение) [284; 381].

Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) – метод проведения исследований, основанный на увеличении скорости химических процессов, протекающих в пищевых системах, посредством создания особо неблагоприятных условий хранения. Данный метод позволяет выявить степень влияния времени и условий окружающей среды на пищевой продукт и его упаковку, следовательно, установить сроки год-

ности, определить соответствие продукта требованиям нормативных документов, определить оптимальные условия транспортирования и хранения [263; 332; 334].

Для ускорения химических реакций искусственно используются более высокие температуры с целью возможности прогнозирования определенных показателей качества за короткий промежуток времени. Температура – один из основных активаторов процесса старения, определяющий скорость химических реакций и оказывающий наибольшее влияние на качество продукта в отличие от других факторов, действие которых можно нивелировать с помощью упаковки. При повышении температуры искусственно сокращается временной диапазон, в течение которого значения показателей качества находятся в допустимых пределах [187; 375].

ASLT является стандартной практикой в различных отраслях и широко представлено в научных исследованиях, в том числе направленных на разработку функциональных продуктов питания [3; 10; 154; 206; 244; 273; 299; 317; 339].

Данный метод также позволяет оценить эффект от фортификации пищевых систем различными добавками, изменения рецептуры и т. д.

С целью определения сроков годности БЭПС, условий их хранения и транспортирования и определения совместимости с упаковкой для сокращения продолжительности экспериментальных исследований была применена методика ASLT.

Исследования показали, что в сравнении с контрольным образцом, хранящимся при температуре $(4^{\circ} \pm 2)$ °С, в условиях термостатирования при температуре (45 ± 1) °С, ускорение химических процессов составляет порядка 12 раз. При термостатировании образцов при температуре (40 ± 1) °С, химические процессы ускоряются в 10,5 раза по сравнению с контрольным образцом, а при термостатировании образцов при температуре (35 ± 1) °С, химические процессы протекают в 9 раз быстрее по сравнению с контрольным образцом (рисунок 42).

Коэффициент детерминации составил 0,986, что говорит о том, что используемый метод позволяет моделировать условия хранения образцов БЭПС.

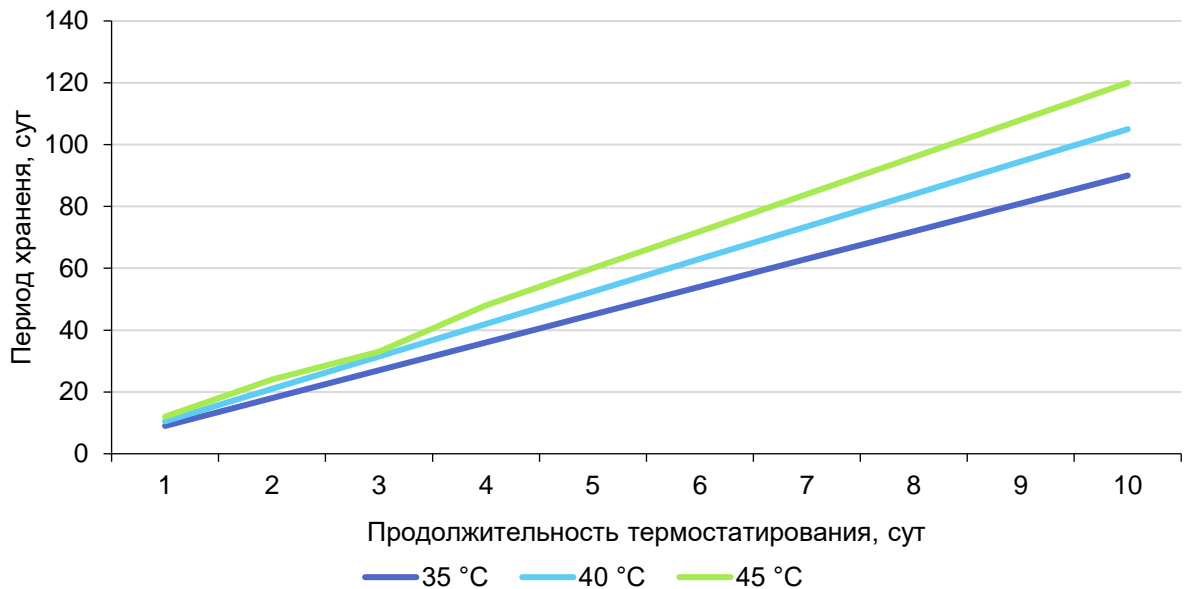


Рисунок 42 – Ускорение химических процессов при термостатировании БЭПС в различных температурных условиях

Срок годности БЭПС устанавливали по результатам определения органолептических и физико-химических показателей, при котором испытуемый при повышенных температурах образец соответствовал требованиям и не имел критичных различий в сравнении с контрольным образцом (таблица 17).

Таблица 17 – Срок годности при термостатировании образцов БЭПС в условиях

Продолжительность термостатирования, сут	Продолжительность хранения*, сут	Соответствие значений показателей качества установленным требованиям
(35 ± 1) °C		
1	9	+
2	18	+
3	27	+
4	36	+
5	45	+
6	54	+
7	63	+
8	72	+
9	81	+
10	90	+

Продолжение таблицы 17

Продолжительность термостатирования, сут	Продолжительность хранения*, сут	Соответствие значений показателей качества установленным требованиям
11	99	+
12	108	+
13	117	–
(40 ± 1) °С		
1	11	+
2	21	+
3	32	+
4	42	+
5	53	+
6	63	+
7	74	+
8	84	+
9	95	+
10	105	+
11	116	–
(45 ± 1) °С		
1	12	+
2	24	+
3	33	+
4	48	+
5	60	+
6	72	+
7	84	+
8	96	+
9	108	+
10	120	–
Примечание – * На основании сравнения с контрольным образцом, хранящимся при температуре (4 ± 2) °С.		

Критичные различия с контрольным образцом были обнаружены на 12-е сутки хранения при термостатировании образцов БЭПС при температуре (35 ± 1) °С, что соответствовало 117 сут хранения при температуре (4 ± 2) °С. При

термостатировании при температуре $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ критические различия начали проявляться на 11-е сутки хранения (116 сут в реальных условиях), а термостатирование образцов БЭПС при температуре $(35 \pm 1) ^\circ\text{C}$ привело к возникновению критических различий на 10-е сутки хранения (120 сут в реальных условиях).

Исходя из полученных данных с учетом коэффициента запаса был установлен срок годности БЭПС – 3 мес.

Таким образом, использование метода ASLT для установления сроков годности БЭПС позволило существенно сократить продолжительность исследований по сравнению с методами испытаний в реальных условиях и получить результаты с высокой степенью достоверности.

5.5 Проектирование биоактивных эмульсионных пищевых систем на основе регрессионного анализа

Проектирование пищевых систем – актуальное направление как с научной, так и с практической точки зрения.

В настоящее время с целью снижения затрат при проектировании новых видов пищевых систем широко используется математическое моделирование, позволяющее оптимизировать технологические режимы, составить рецептуры, провести оценку качества, в том числе сенсорный анализ, а также спрогнозировать сроки годности [14; 15; 45; 75; 111; 203; 370; 378; 383].

В связи с тем, что в основе математических моделей лежит технология многокритериального выбора, они направлены на решение ряда задач. Среди них можно выделить поиск оптимальных условий проектирования пищевой системы на основе множества различных критериев. В связи с этим они могут быть успешно применены для структурирования полученного множества альтернативных вариантов пищевой системы и обоснования выбора среди них оптимального.

Опираясь на возможность применения математических методов в решении различных технологических задач, математическое моделирование было применено для проектирования биоактивных эмульсионных пищевых систем с использованием многофакторного регрессионного анализа для критериев комплексной органолептической оценки качества и сохраняемости.

Сущность факторного эксперимента заключалась в одновременном варьировании всех факторов при его проведении по определенному плану, представлении математической модели (функции отклика) в виде линейного полинома и исследовании его методами математической статистики.

План эксперимента реализовывался в соответствии с концепцией последовательного анализа (рисунок 43).

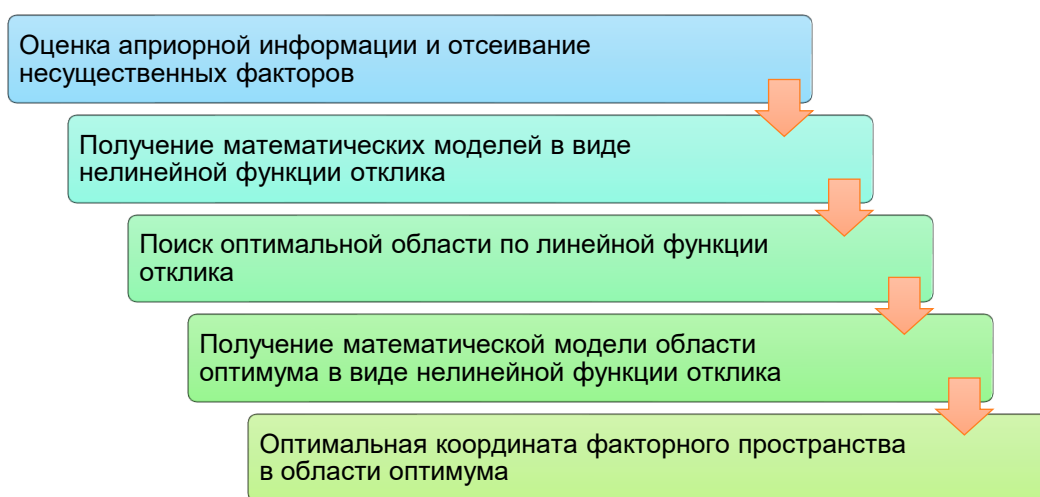


Рисунок 43 – План эксперимента

Для составления плана применяли матрицу планирования с использованием приема чередования знаков. Учитывались наилучшие коэффициенты, точность предсказания значений переменной состояния была одинакова в любом направлении факторного пространства.

Опытным путем установлен перечень факторов, влияющих на результат комплексной органолептической оценки БЭПС: мощность ультразвукового диспергирования X_1 ($5000 \leq X_1 \leq 2000000$), амплитуда ультразвукового диспергирования X_2 ($20 \leq X_2 \leq 100$), продолжительность обработки – X_3 ($1 \leq X_3 \leq 30$), концентрация

эмульгатора 1 – X_4 ($0,5 \leq X_4 \leq 10$), концентрация эмульгатора 2 – X_5 ($0,5 \leq X_5 \leq 10$), количество масла X_6 ($20 \leq X_6 \leq 80$), количество воды – X_7 ($20 \leq X_7 \leq 80$).

Согласно плану полного факторного эксперимента была проведена серия опытов (приложение Д), в которых при различных сочетаниях значений факторов X_1 – X_7 фиксировались значения комплексной органолептической оценки БЭПС (таблица 18).

Таблица 18 – Матрица планирования эксперимента 1

Наименование	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Нулевой уровень X_{i0}	1 002 500	60	15,5	5,25	5,25	50,0	50,0
Интервал варьирования ΔX_i	997 500	40	14,5	4,75	4,75	30	30
Верхний уровень $X_{iв}$	2 000 000	100	30	10	10	80	80
Нижний уровень $X_{iн}$	5 000	20	1	0,5	0,5	20	20

Исходя из полученных результатов построена регрессионная модель:

$$y = 3,075 + 0,889x_1 + 0,164x_2 + 0,227x_3 + 0,093x_4 + 0,120x_5 + 0,044x_6 + 0,024x_7. \quad (14)$$

Аналогичным образом был установлен перечень факторов, влияющих на сохраняемость БЭПС: температура хранения – X_1 ($-4 \leq X_1 \leq 4$), КМАФАнМ – X_2 ($0 \leq X_2 \leq 10\,000$), содержание плесневых грибов – X_3 ($0 \leq X_3 \leq 50$), содержание дрожжей – X_4 ($0 \leq X_4 \leq 50$), перекисное число – X_5 ($0 \leq X_5 \leq 10$) (таблица 19).

Таблица 19 – Матрица планирования эксперимента 2

Наименование	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Нулевой уровень X_{i0}	0	5 000	25	25	5
Интервал варьирования ΔX_i	4	5 000	5	5	5
Верхний уровень $X_{iв}$	4	10 000	50	50	10
Нижний уровень $X_{iн}$	-4	0	0	0	0

Результаты исследования влияния изучаемых факторов на сохраняемость БЭПС выражены с помощью следующей регрессионной модели:

$$y = 31,406 - 2,156x_1 - 1,343x_2 - 1,188x_3 - 1,312x_4 - 1,5x_5 + 0,625x_1x_5. \quad (15)$$

Полученные на основе дисперсионного анализа данные позволили установить факторы, оказывающие значимое влияние на комплексную оценку качества БЭПС (технические параметры ультразвукового диспергирования, вид и количество эмульгатора, соотношение масляной и водной фазы) и их сохраняемость (температура, перекисное число, микробиологические показатели). Построенные регрессионные модели, способны эффективно определить оптимальные режимы, а именно осуществлять прогноз качественных характеристик и срока годности БЭПС. Применение данных моделей для проектирования БЭПС будет способствовать расширению ассортимента пищевых продуктов с заданными функциональными свойствами, а следовательно, профилактике целого ряда неинфекционных заболеваний.

Выводы по главе 5

Изучение влияния инкапсулирования БАВ в БЭПС на формирование органолептического профиля эмульсионных систем и устойчивость к окислению позволило сделать выводы. Инкапсулирование рыбьего жира и витамина В₁ в матрицу БЭПС предотвращает появление нежелательных запаха, вкуса и послевкусия, а также способно осуществить коррекцию его цвета. Исследования подтвердили эффективность инкапсулирования рыбьего жира в двойные эмульсии в повышении устойчивости его к окислению: снижению степени и интенсивности окислительных процессов.

В ходе исследований на основании анализа показателей качества и безопасности БЭПС установлены сроки их годности с использованием метода ASLT, позволяющего за короткий промежуток времени выявить степень влияния времени и условий окружающей среды. Исследования, проводимые при температурах термостатирования $(45 \pm 1) ^\circ\text{C}$, $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ и $(35 \pm 1) ^\circ\text{C}$ показали ускорение химических процессов в 12; 11 и 9 раз в сравнении с контрольным образцом, хранящимся при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Срок годности биоактивных эмульсионных пищевых систем устанавливали по соответствию требованиям и отсутствию критических различий в значениях органолептических и физико-химических показателей образцов, испытываемых при повышенных температурах в сравнении с контрольным образцом. Основываясь на временном промежутке появления критических различий и с учетом коэффициента запаса был установлен срок годности БЭПС – 3 мес.

Проведены исследования санитарно-значимых микробиологических показателей безопасности (КМАФАнМ, БГКП), патогенных (*Salmonella*) и микроорганизмов порчи (плесневые грибы и дрожжи) БЭПС В/М/В и масло-вода-масло, полученных с помощью ультразвукового диспергирования, и контрольных образцов – прямой и обратной эмульсий, полученных традиционным способом, после 7; 14 и 21 сут хранения. По результатам исследования установлено отсутствие роста санитарно-значимых микробиологических показателей в процессе хранения БЭПС, выявлено отсутствие бактерий группы кишечных палочек, патогенных микроорганизмов, в том числе бактерий рода *Salmonella*, грибная микробиота характеризовалась отсутствием роста во всех типах эмульсионных пищевых систем, включая контрольные образцы. КМАФАнМ и численность дрожжевых форм БЭПС В/М/В и контрольного образца – прямой эмульсии (масло в воде) в процессе хранения характеризовались отсутствием роста, тогда как для данных показателей БЭПС системы М/В/М и контрольного образца – обратной эмульсии (вода в масле) наблюдался незначительный рост. Установлено влияние факторов «срок хранения» и «тип эмульсии» на микробную загрязненность эмульсионных пищевых систем. На значение показателей КМАФАнМ и количество дрожжей в эмульсионных пищевых системах наиболее существенное влияние оказывало взаимодействие двух факто-

ров, на уровень контаминации образцов дрожжами влияние фактора «тип эмульсии» было выше в сравнении со степенью влияния фактора «срок хранения», на формирование значения показателя КМАФАнМ влияние фактора «срок хранения» было выше, чем влияние фактора «тип эмульсии».

Установлен перечень факторов, влияющих на комплексный показатель качества и сохраняемость БЭПС. На основе полного факторного эксперимента построены регрессионные модели, позволяющие осуществлять прогноз качественных характеристик и срока годности БЭПС.

6 Определение сохраняемости и биодоступности БАВ в составе БЭПС

6.1 Исследование сохраняемости витаминов в БЭПС

В ходе исследования изучали динамику содержания БАВ на примере водорастворимых витаминов В₁ и С, а также жирорастворимых витаминов Е и D, инкапсулированных во внутреннюю фазу матрицы БЭПС, в процессе хранения.

Для исследования эффективности инкапсулирования гидрофильных БАВ исследовали БЭПС В/М/В с БЭФ, содержащим витамин В₁ в количестве 1,5 мг на 100 г, и БЭПС В/М/В с БЭФ, содержащим витамин С в количестве 1 мг на 100 г; в качестве контрольного образца служили обратные эмульсии, содержащие аналогичное количество витаминов. Коэффициент удержания витаминов K_y рассчитывали по формуле

$$K_y = \frac{B_x}{B_0}, \quad (16)$$

где B_x – концентрация витамина при заданном времени хранения; B_0 – исходная концентрация витамина.

После формирования эмульсионных систем, а также на 5; 15 и 30-е сутки их хранения определяли количество витаминов и коэффициенты их удержания.

Результаты исследования содержания витамина В₁ представлены на рисунке 44 и в таблице 20.

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержание витамина В₁ в контроле и БЭПС (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$).

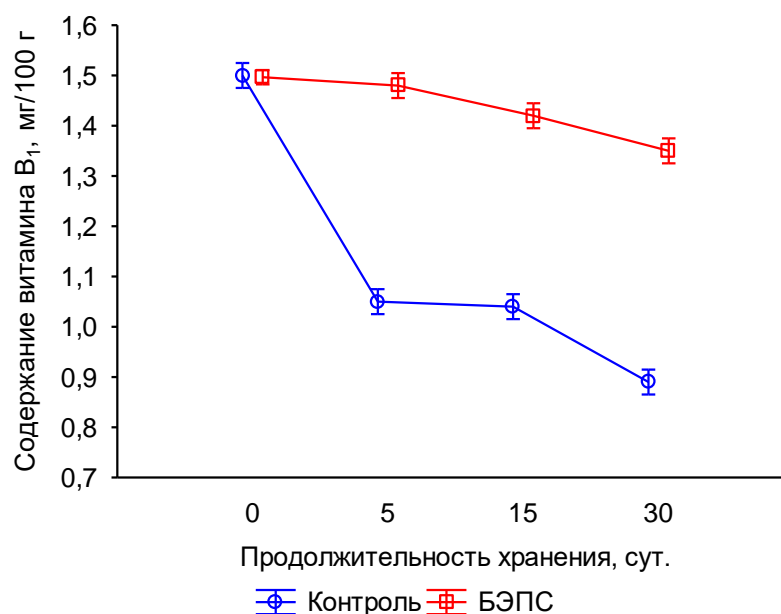


Рисунок 44 – Динамика содержания витамина В₁ в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 20 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание витамина В ₁			
	Контроль, мг/100 г	V, %	БЭПС, мг/100 г	V, %
0	1,50 ± 0,01 ^{bcd}	0,67	1,50 ± 0,01 ^{cd}	0,39
5	1,05 ± 0,01 ^{ad}	0,95	1,48 ± 0,01 ^{cd}	0,68
15	1,04 ± 0,01 ^{ad}	0,96	1,42 ± 0,01 ^{abd}	0,70
30	0,89 ± 0,01 ^{abc}	1,12	1,35 ± 0,01 ^{abc}	0,74
Сила влияния, %	99,95 ($p < 0,01$)		99,38 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (<i>a–d</i> по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).				

В процессе хранения наблюдается снижение количества витамина В₁ как в контрольном образце, так и в БЭПС, однако в БЭПС уменьшение содержания данного происходит менее интенсивно.

Так, на 5-е сутки хранения количество витамина В₁ в БЭПС снизилось на 1,3 %, тогда как в контрольном образце снижение составило 30 %. На 15-е сутки хранения количество витамина В₁ снизилось на 5,3 % для БЭПС и на 30,7 % для контрольного образца. На момент окончания хранения содержание витамина В₁

в контрольном образце снизилось на 40,7 % до 0,89 мг/100 г, тогда как в БЭПС снижение количества данного витамина составило только 10 %.

Коэффициент удержания витамина В₁ в БЭПС находится в пределах 1–0,9 в течение 30 сут хранения, тогда как у контрольного образца на 30-е сутки хранения он составил 0,59 (рисунок 45, таблица 21). Разница в значениях коэффициента составила 34,4 % (степень рассеивания значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на коэффициент удержания витамина В₁ контроля и БЭПС (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$)).

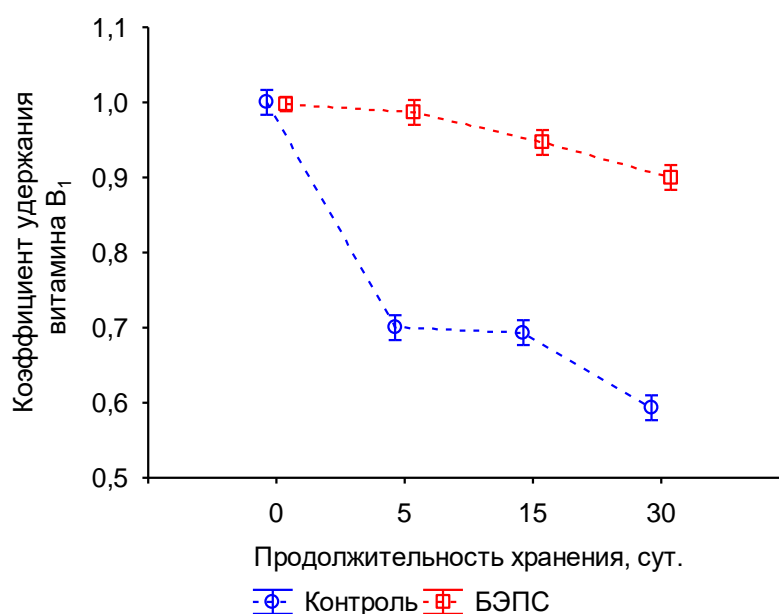


Рисунок 45 – Динамика коэффициента удержания витамина В₁ в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 21 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Коэффициент удержания витамина В ₁			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	1,00 ± 0,01 ^{bcd}	0,67	1,00 ± 0,003 ^{cd}	0,39
5	0,70 ± 0,01 ^{ad}	0,95	0,99 ± 0,01 ^{cd}	0,68
15	0,69 ± 0,01 ^{ad}	0,96	0,95 ± 0,01 ^{abd}	0,70
30	0,59 ± 0,01 ^{abc}	1,12	0,90 ± 0,01 ^{abc}	0,74
Сила влияния, %	99,95 ($p < 0,01$)		99,33 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a–d по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Результаты исследования содержания аскорбиновой кислоты представлены на рисунке 46 и в таблице 22.

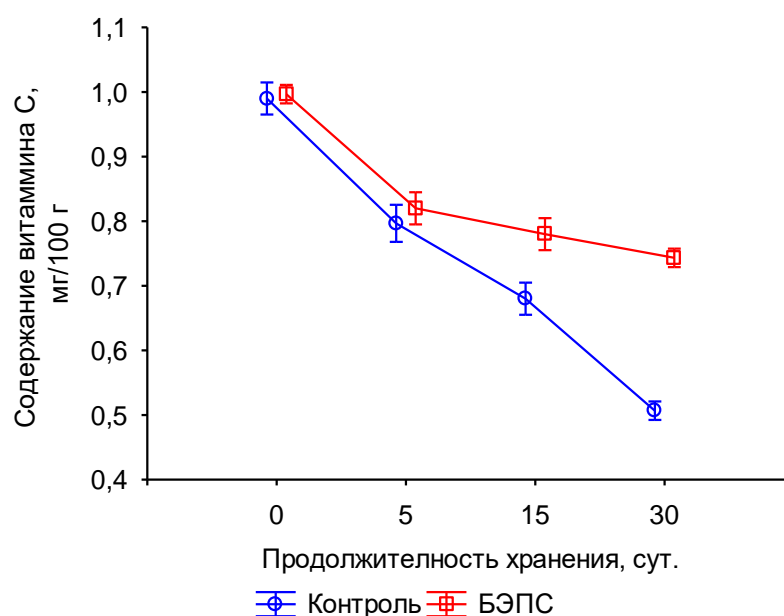


Рисунок 46 – Динамика содержания аскорбиновой кислоты в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 22 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание витамина С, мг/100 г			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	0,99 ± 0,01 ^{bcd}	1,01	1,00 ± 0,01 ^{bcd}	0,58
5	0,80 ± 0,01 ^{acd}	1,45	0,82 ± 0,01 ^{acd}	1,22
15	0,68 ± 0,01 ^{abd}	1,47	0,78 ± 0,01 ^{abd}	1,28
30	0,51 ± 0,01 ^{abc}	1,14	0,74 ± 0,01 ^{abc}	0,78
Сила влияния, %	99,93 ($p < 0,01$)		99,82 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a–d* по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержание витамина С у контроля и БЭПС (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$).

Аскорбиновая кислота легко окисляется под воздействием парциального давления кислорода, рН, температуры, света и присутствия ионов тяжелых металлов.

В связи с этим при хранении наблюдается более интенсивное снижение ее количества как в контрольном образце, так и в БЭПС по сравнению с витамином В₁.

Содержание аскорбиновой кислоты в БЭПС находилось в пределах от 1 до 0,74 мг/10 г в течение 30 сут хранения. На 30-е сутки хранения БЭПС его значение на 45,1 % превышает аналогичное значение у контрольного образца.

В связи с тем, что изначально количество аскорбиновой кислоты в БЭПС составляло 1 мг на 100 г, значения ее содержания и коэффициента удержания в процессе хранения были идентичны.

Для исследования эффективности инкапсулирования липофильных БАВ использовали БЭПС М/В/М, фортифицированные БЭФ с витамином Е или D, и прямые эмульсии в качестве контрольных образцов, содержащие витамин Е в количестве 6,4 мг на 100 г или витамин D в количестве 0,097 мг на 100 г.

Сразу после формирования эмульсионных систем, а также на 5; 15 и 30-е сутки их хранения определяли динамику содержания витамина Е (рисунок 47, таблица 23).

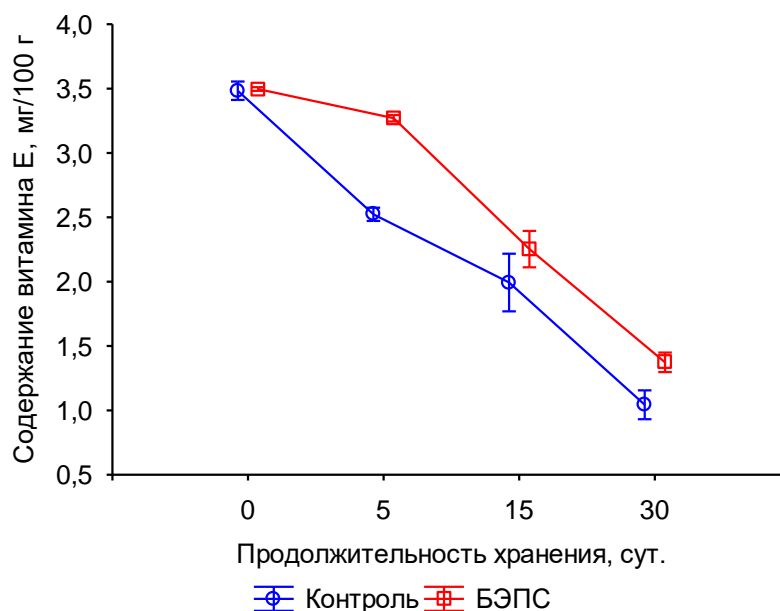


Рисунок 47 – Динамика содержания витамина Е в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 23 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание витамина Е, мг/100 г			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	3,48 ± 0,03 ^{bcd}	0,83	3,50 ± 0,01 ^{bcd}	0,17
5	2,52 ± 0,02 ^{acd}	0,82	3,27 ± 0,01 ^{acd}	0,31
15	1,99 ± 0,09 ^{abd}	4,52	2,25 ± 0,06 ^{abd}	2,52
30	1,04 ± 0,05 ^{abc}	4,32	1,37 ± 0,03 ^{abc}	2,23
Сила влияния, %	99,91 ($p < 0,01$)		99,96 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a–d по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Результаты исследования показали (степень рассеивания значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержание витамина Е у контроля и БЭПС (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$)), что в процессе хранения наблюдается снижение количества витамина Е и в контрольном образце, и в БЭПС. На 5-е сутки хранения произошло изменение количества витамина Е: в БЭПС его содержание снизилось на 6,6 %, а в контрольном образце на 27,7 %. При дальнейшем хранении темп снижения количества витамина замедляется и на 15-е сутки по сравнению с начальным значением оно составило 40,6 % для БЭПС и 35,1 % для контрольного образца. На момент окончания хранения содержание витамина Е в контрольном образце снизилось на 70,3 %, тогда как в БЭПС – на 60,6 %.

Витамин Е характеризуется антиоксидантной активностью, сохраняет стабильность при высокотемпературной обработке, дегидратации, консервировании, но подвержен распаду при температуре ниже 0 °С, а также в кислой и щелочной среде.

Анализ динамики коэффициента удержания витамина Е, представленной на рисунке 48, показывает, что на 30-е сутки хранения значение коэффициента удержания витамина Е в БЭПС было на 30 % выше в сравнении со значением данного коэффициента в контрольном образце – прямой эмульсии. Следовательно, снижение содержания витамина Е в БЭПС под воздействием внешних факторов происходит менее интенсивно в сравнении с прямой эмульсией. Степень рассеивания

значений незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на коэффициент удержания витамина Е у контроля и БЭПС, сила влияния срока хранения более 99 %, $p < 0,01$ (таблица 24).

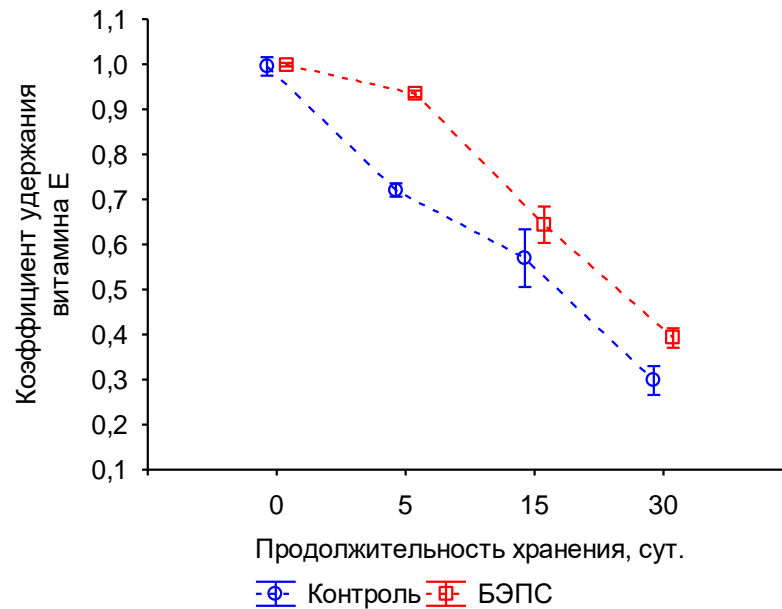


Рисунок 48 – Динамика коэффициента удержания витамина Е в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 24 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Коэффициент удержания витамина Е, мг/100г			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	1,00 ± 0,01 ^{bcd}	0,83	1,00 ± 0,001 ^{bcd}	0,17
5	0,72 ± 0,01 ^{acd}	0,83	0,93 ± 0,002 ^{acd}	0,31
15	0,57 ± 0,03 ^{abd}	4,52	0,64 ± 0,02 ^{abd}	2,52
30	0,30 ± 0,01 ^{abc}	4,32	0,39 ± 0,01 ^{abc}	2,22
Сила влияния, %	99,91 ($p < 0,01$)		99,96 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a–d по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).				

Анализ динамики содержания витамина D показывает аналогичную тенденцию (рисунок 49, таблица 25).

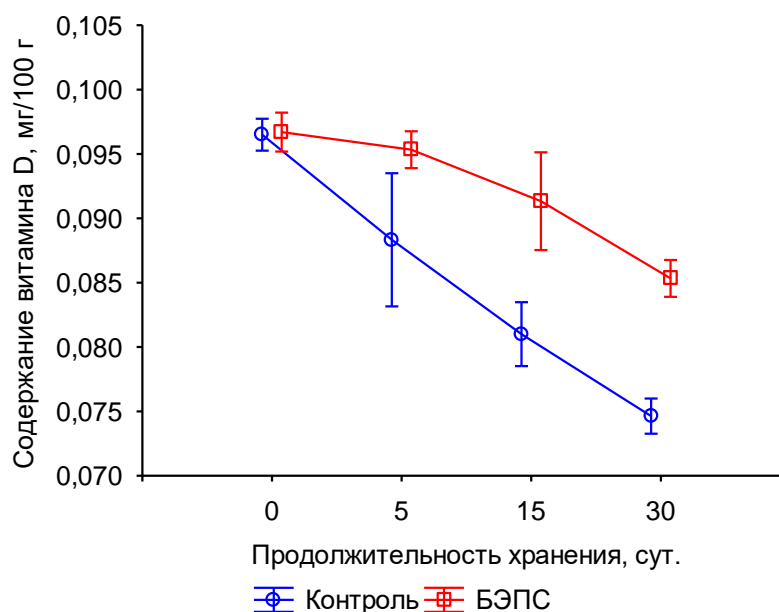


Рисунок 49 – Динамика содержания витамина D в процессе хранения эмульсионных систем

Таблица 25 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание витамина D, мг/100 г			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	0,097 ± 0,002 ^{bcd}	0,52	0,097 ± 0,001 ^{cd}	0,63
5	0,088 ± 0,001 ^{acd}	2,36	0,095 ± 0,001 ^{cd}	0,61
15	0,081 ± 0,001 ^{abd}	1,23	0,091 ± 0,001 ^{abd}	1,67
30	0,074 ± 0,001 ^{abc}	0,73	0,085 ± 0,001 ^{abc}	0,68
Сила влияния, %	99,45 ($p < 0,01$)		98,93 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a–d* по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

При незначительной степени рассеивания значений продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержание витамина D как у контроля, так и у БЭПС (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$). Снижение количества витамина D в прямой эмульсии происходит более интенсивно, чем в БЭПС, и на момент окончания периода хранения достигает 22,7 %, что на 10,3 % превышает снижение количества данного витамина при хранении БЭПС.

Динамика коэффициента удержания витамина D имеет аналогичную тенденцию к снижению (рисунок 50, таблица 26).

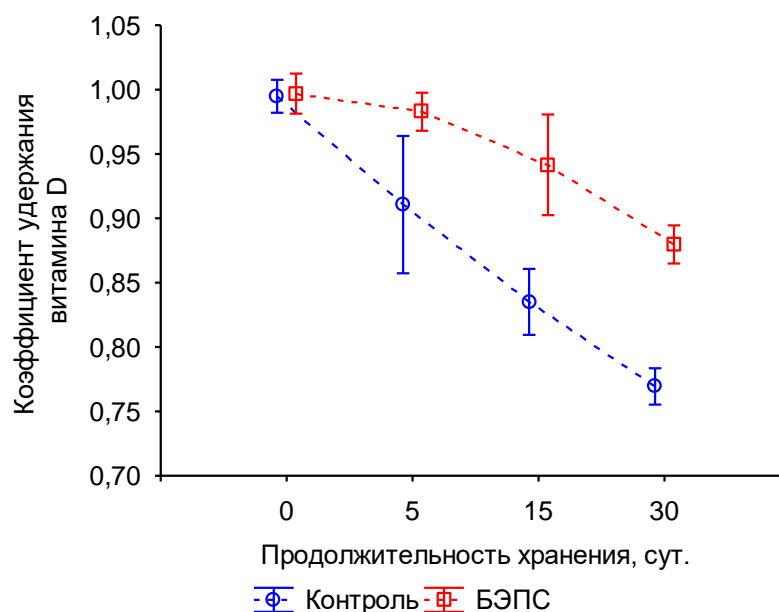


Рисунок 50 – Динамика коэффициента удержания витамина D в процессе хранения эмульсионных пищевых систем

Таблица 26 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Коэффициент удержания витамина D, мг/100г			
	Контроль	V, %	БЭПС	V, %
0	0,99 ± 0,01 ^{bcd}	0,52	1,00 ± 0,01 ^{cd}	0,63
5	0,91 ± 0,02 ^{acd}	2,36	0,98 ± 0,01 ^{cd}	0,63
15	0,84 ± 0,01 ^{abd}	1,23	0,94 ± 0,02 ^{abd}	1,67
30	0,77 ± 0,01 ^{abc}	0,74	0,88 ± 0,01 ^{abc}	0,68
Сила влияния, %	99,45 ($p < 0,01$)		98,93 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a–d* по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Значение коэффициента удержания витамина D в БЭПС на 14,3 % выше аналогичного значения контроля – прямой эмульсии (сила влияния более 99 %, $p < 0,01$).

Таким образом, сформированные БЭПС имеют более высокую способность к сохранению как водорастворимых, так и жирорастворимых витаминов за счет формирования межфазного слоя эмульсии, обеспечивая их защиту от деградации под воздействием внешней среды, по сравнению с контрольными образцами – прямой или обратной эмульсиями, обогащенными витаминами [120].

6.2 Оценка биодоступности БАВ

в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем

Биодоступность необходимо изучать для каждого конкретного БАВ в конкретной пищевой матрице, с целью выявления эффективного подхода к ее улучшению с учетом всех возможных факторов: системы доставки БАВ в организм человека, сольюбилизации в желудочно-кишечном тракте, взаимодействия с другими компонентами, транспорта через клеточные мембраны и распределения через системное кровообращение в различные органы и ткани [62; 81; 141; 293].

Использование для обогащения продуктов питания пищевых матриц, которые расщепляются в желудочно-кишечном тракте с образованием коллоидных структур, может способствовать увеличению биодоступности, абсорбции и (или) трансформации БАВ. Эмульсии являются одними из наиболее эффективных пищевых матриц, за счет возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств [35; 385; 386; 387].

В связи с тем, что доклинические исследования биодоступности биологически активных веществ в пищевой матрице являются важным этапом в разработке технологии обогащенных пищевых продуктов, целью данного этапа исследований являлась сравнительная оценка биодоступности витамина В₁₂ в крови после введения биоактивной эмульсионной пищевой системы и прямой эмульсии, обогащенных данным витамином в сравнении с контролем – прямой эмульсией в опытах на лабораторных животных.

Уровень витамина В₁₂ в сыворотке крови является чувствительным маркером его алиментарного поступления в организм. Витамин В₁₂ имеет сложный механизм всасывания в желудочно-кишечном тракте: в щелочной среде тонкой кишки по воздействию ферментов поджелудочной железы связывается с внутренним фактором – белком, образуя комплекс «внутренний фактор – белок», а рецепторы, расположенные на поверхности тонкой кишки, в свою очередь поглощают этот комплекс

[139; 363]. В связи с этим представляется важным на примере данного витамина оценить эффективность БЭПС как системы его доставки.

В качестве маркера для определения биодоступности использовали кристаллический порошок витамина В₁₂ (цианкобаламина), который вводился в эмульсии в количестве 0,12 мкг на 1 мл.

В эксперименте использовались три образца пищевых эмульсий, приготовленных на основе купажа масел (подсолнечного рафинированного дезодорированного и масла МСТ (смеси среднецепочечных триглицеридов) в соотношении 2:1) и воды:

- образец 1 – БЭПС с витамином В₁₂;
- образец 2 – прямая эмульсия с витамином В₁₂;
- контроль – прямая эмульсия.

Исследуемые образцы были расфасованы в пластиковую тару по 100 мл и хранились в холодильнике, за 1 ч до введения доводились до комнатной температуры естественным путем.

Биодоступность БАВ оценивали по сыворотке крови лабораторных животных после употребления БЭПС, содержащих во внутренней фазе БАВ в сравнении с контрольным образцом – прямой эмульсией и прямой эмульсией с добавлением БАВ.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе (пилотный эксперимент) определяли оптимальный период биодоступности витамина В₁₂ с помощью анализа крови через 1; 2; 3 и 4 ч после введения образцов эмульсий. Результаты исследований представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Результаты определения оптимального периода концентрации витамина В₁₂ в сыворотке крови, после перорального приема прямой эмульсии и БЭПС

Вид эмульсии	Концентрация витамина В ₁₂ в сыворотке крови, пг/л			
	через 1 ч	через 2 ч	через 3 ч	через 4 ч
Контроль	600,67 ± 91,68	–	–	–
Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	616,67 ± 8,50	622,00 ± 133,76	627,33 ± 153,70	705,00 ± 102,59
БЭПС с витамином В ₁₂	647,33 ± 32,72	671,33 ± 127,70	672,67 ± 111,96	749,00 ± 120,40

Проведенные исследования показали, что наибольшая концентрация витамина В₁₂ определяется в сыворотке крови через 4 ч. В связи с этим оптимальным для определения биодоступности по результатам пилотного эксперимента был выбран период 4 ч.

На втором этапе проводили анализ содержания витамина В₁₂ в крови лабораторных животных через 4 ч после введения БЭПС, прямой эмульсии и контрольной эмульсии.

Результаты исследования крови лабораторных животных на количественное содержание витамина В₁₂ отражены в таблице 28.

Таблица 28 – Результаты исследования крови лабораторных животных на содержание витамина В₁₂ через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС

Показатель	Концентрация витамина В ₁₂ , пг/мл
Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	625,33 ± 111,83
БЭПС	690,0 ± 150,91
<i>P</i> -значение	0,0487*
Примечание – * Различия статистически значимы на уровне 0,05.	

Сравнительный анализ концентрации витамина В₁₂ в крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС показал ее достоверное различие.

Далее были проведены исследования по выявлению различий в значениях параметров общего анализа крови лабораторных животных после введения БЭПС, прямой эмульсии и контрольной эмульсии (таблицы 29 и 30).

С целью оценки биодоступности витамина В₁₂ и включения его в метаболизм проведены исследования содержания основных гематологических параметров по общему анализу крови.

Таблица 29 – Результаты общего анализа крови через 4 ч после введения контроля и БЭПС

Показатель	Прямая эмульсия	БЭПС	P-значение
Ретикулоциты, $\cdot 10^9/\text{л}$	$0,95 \pm 0,35$	$1,13 \pm 0,65$	0,580
WBC Лейкоциты, $\cdot 10^9/\text{л}$	$2,85 \pm 0,55$	$1,71 \pm 0,52$	0,012*
LYM Процент лимфоцитов, $\cdot 10^9/\text{л}$	$1,90 \pm 0,70$	$1,25 \pm 0,46$	0,088
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), $\cdot 10^9/\text{л}$	$0,23 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,02$	0,022*
GRA (гранулоциты), $\cdot 10^9/\text{л}$	$0,73 \pm 0,76$	$0,33 \pm 0,23$	0,480
LYM (лимфоциты), %	$67,50 \pm 7,63$	$71,85 \pm 5,16$	0,617
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток, %)	$8,15 \pm 2,95$	$8,43 \pm 2,70$	0,841
GRA (гранулоциты), %	$24,33 \pm 19,45$	$19,72 \pm 12,58$	0,689
RBC (эритроциты), $\cdot 10^{12}/\text{л}$	$4,54 \pm 0,12$	$4,64 \pm 0,27$	0,271
HGB (гемоглобин), г/л	$83,00 \pm 2,13$	$87,93 \pm 2,34$	0,030*
MCHC (средняя концентрация гемоглобина в эритроците), г/л	$340,00 \pm 5,89$	$346,07 \pm 8,86$	0,161
MCH (среднее содержание эритроцитов), пг	$18,30 \pm 0,97$	$18,96 \pm 0,43$	0,146
MCV (средний объем эритроцитов), $10^{-15}/\text{л}$	$53,80 \pm 2,01$	$54,80 \pm 1,26$	0,484
RDW-CV (индекс распределение тромбоцитов), %	$11,05 \pm 0,34$	$11,10 \pm 0,33$	0,920
RDW-SD (индекс распределение тромбоцитов), $10^{-15}/\text{л}$	$27,95 \pm 1,20$	$28,63 \pm 0,89$	0,249
HCT (гематокрит), %	$24,40 \pm 0,50$	$25,42 \pm 0,36$	0,040*
PLT (тромбоциты), $\cdot 10^9/\text{л}$	$432,25 \pm 24,76$	$444,33 \pm 13,41$	0,726
MPV (средний объем тромбоцитов), $10^{-15}/\text{л}$	$6,28 \pm 0,53$	$6,07 \pm 0,33$	0,480
PDW (индекс распределения тромбоцитов), $10^{-15}/\text{л}$	$11,68 \pm 0,35$	$11,71 \pm 1,05$	0,550
PCT (тромбокрит), %	$0,26 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,02$	0,617
P-LCR, %	$3,80 \pm 2,16$	$3,83 \pm 3,46$	0,341
Примечание – * Различия статистически значимы на уровне 0,05.			

Как видно из таблицы 29, по сравнению с прямой эмульсией, после введения лабораторным животным БЭПС, количество лейкоцитов, моноцитов, эозинофилов, базофилов, незрелых клеток, а также содержание гемоглобина и гематокрита стало достоверно больше.

Сравнительный анализ показателей общего анализа крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Результаты общего анализа крови лабораторных животных через 4 ч после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС

Показатель	Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	БЭПС	P-значение
Ретикулоциты, ·10 ⁹ /л	1,23 ± 0,53	1,13 ± 0,65	0,6030
WBC Лейкоциты, ·10 ⁹ /л	1,37 ± 0,11	1,71 ± 0,52	0,0327*
LYM Процент лимфоцитов, ·10 ⁹ /л	1,03 ± 0,46	1,25 ± 0,46	0,0880
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), ·10 ⁹ /л	0,17 ± 0,33	0,14 ± 0,02	0,4140
GRA (гранулоциты), ·10 ⁹ /л	0,47 ± 0,37	0,33 ± 0,23	0,3360
LYM (лимфоциты), %	60,54 ± 6,38	71,85 ± 5,16	0,0178*
MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток, %)	9,27 ± 3,71	8,43 ± 2,70	0,3000
GRA (гранулоциты), %	26,19 ± 13,08	19,72 ± 12,58	0,1200
RBC (эритроциты), ·10 ¹² /л	4,57 ± 0,25	4,64 ± 0,27	0,7400
HGB (гемоглобин), г/л	86,60 ± 3,46	87,93 ± 2,34	0,3690
MCHC (средняя концентрация гемоглобина в эритроците), г/л	348,47 ± 9,47	346,07 ± 8,86	0,5200
MCH (среднее содержание эритроцитов), пг	19,04 ± 0,76	18,96 ± 0,43	0,8180
MCV (средний объем эритроцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	54,63 ± 1,68	54,80 ± 1,26	0,9830
RDW-CV (индекс распределение тромбоцитов), %	11,07 ± 0,38	11,10 ± 0,33	0,4370
RDW-SD (индекс распределение тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	28,53 ± 1,02	28,63 ± 0,89	0,8030
HCT (гематокрит), %	24,92 ± 1,32	25,42 ± 0,36	0,1710
PLT (тромбоциты), ·10 ⁹ /л	418,93 ± 10,65	444,33 ± 13,41	0,0387*
MPV (средний объем тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	6,05 ± 0,22	6,07 ± 0,33	0,8660
PDW (индекс распределения тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	11,47 ± 0,63	11,71 ± 1,05	0,9470
PCT (тромбокрит), %	0,26 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,6780
P-LCR, %	4,55 ± 3,22	3,83 ± 3,46	0,2990
Примечание – * Различия статистически значимы на уровне 0,05.			

Результаты сравнительного анализа также свидетельствуют о достоверном увеличении количества клеток белых кровяных телец (лейкоцитов и лимфоцитов), а также тромбоцитов после введения БЭПС по сравнению с их количеством после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂.

Таким образом, при сравнении результатов анализа крови лабораторных животных после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС (см. таблицу 30) альтернативная гипотеза о наличии различий между данными принимается по изучаемому признаку на уровне значимости $p = 0,05$ для следующих показателей: количество витамина В₁₂, количество белых кровяных телец – лейкоцитов (WBC) и количество лимфоцитов (LYM%) и число тромбоцитов (PLT). При сравнении результатов анализа крови лабораторных животных после введения прямой эмульсии и БЭПС (см. таблицу 29) нулевая гипотеза об отсутствии различий между данными принимается ($p = 0,05$) по всем исследуемым показателям кроме количества белых кровяных телец – лейкоцитов (WBC), смеси содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID#), концентрации гемоглобина (HGB) и гематокрита (HCT). При сравнении значений WBC, MID#, HGB, HCT принимается альтернативная гипотеза о существовании различий по изучаемому признаку.

Количественное содержание витамина В₁₂ в крови лабораторных животных, получавших БЭПС на 10,4 % превышает его содержание в крови лабораторных животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина В₁₂ в крови в количестве меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС. При этом у контрольной группы животных наблюдались более низкие значения гемоглобина и гематокрита. Это подтверждает эффективность применения витамина В₁₂ для процессов деления, роста и созревания клеток, в частности лейкоцитов, тромбоцитов, участвующих в клеточном и тканевом обмене [4; 372], что способствует улучшению сопротивляемости организма, а повышение уровня гемоглобина – насыщению организма кислородом и профилактике гипоксии тканей.

Выводы по главе 6

По результатам исследования сохраняемости витаминов установлена эффективность инкапсулирования БАВ в БЭПС на примере водорастворимых витаминов В₁ и С и жирорастворимых витаминов Е и D. На 30-е сутки хранения коэффициенты удержания водорастворимых витаминов В₁ и С в БЭПС В/М/В на 34,4 % и 45,1 % соответственно превышали значения данных коэффициентов в обратной эмульсионной пищевой системе. Аналогичная тенденция прослеживалась и в динамике коэффициентов удержания жирорастворимых витаминов Е и D. Для БЭПС М/В/М на конец периода хранения их значения на 30 % и 14,3 % соответственно были выше значений для прямых эмульсий, выступавших в качестве контрольных образцов.

На основе результатов, полученных в ходе доклинических исследований, можно считать, что инкапсулирование витамина В₁₂ во внутреннюю водную фазу фортификата БЭПС обеспечивает большую его биодоступность в сравнении с прямой эмульсией, обогащенной данным витамином. Данные анализа крови лабораторных животных подтверждают, что под воздействием витамина В₁₂ происходят процессы, в разной степени способствующие улучшению сопротивляемости организма к различным факторам и формированию новых клеток. Научно-практическое значение доклинической оценки биодоступности БАВ заключается в подтверждении эффективности применения конкретного БАВ в конкретной пищевой матрице и является инновационным, современным и эффективным направлением профилактики алиментарных заболеваний [124].

Результаты исследования показывают, что БЭПС являются многообещающим способом инкапсулирования БАВ для обеспечения их сохраняемости и биодоступности.

7 Практическое применение БЭПС: разработка рецептур и технологий пищевых продуктов на основе БЭПС

На основании полученных результатов исследований, изложенных в главах 3–5 диссертационной работы, далее представлены результаты разработки отдельных эмульсионных пищевых продуктов на основе БЭПС.

На основе прогноза качественных характеристик с использованием построенных регрессионных моделей, описанных в главе 5, были получены опытные образцы эмульсионных пищевых продуктов, которые исследовали по показателям качества и безопасности, в том числе в процессе хранения. Исходя из полученных результатов были установлены регламентируемые показатели качества, сроки годности и разработана нормативно-техническая документация на каждый продукт.

7.1 Разработка и оценка качества эмульсионного биосоуса

7.1.1 Разработка рецептуры и технологии эмульсионного биосоуса

Основу эмульсионного биосоуса составляет БЭПС В/М/В, содержащая в качестве масляной фазы купаж масел (вариант 4), оптимизированный по соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, и внутреннюю водную фазу, состоящую из пробиотического комплекса, диспергированного в масляной фазе.

В качестве пробиотического комплекса использовали комплекс лакто- и бифидобактерий, находящихся в питательной среде, в том числе содержащий их метаболиты.

Технология приготовления эмульсионного биосоуса включает следующие стадии:

- приготовление внешней водной фазы, содержащей вкусоароматические ингредиенты и комплексный эмульгатор;
- комбинирование внутренней водной фазы с масляной фазой и ультразвуковое диспергирование для получения стабилизированной первичной эмульсии типа В/М – БЭФ;
- эмульгирование БЭФ – первичной эмульсии В/М во внешней водной фазе (рисунок 51).

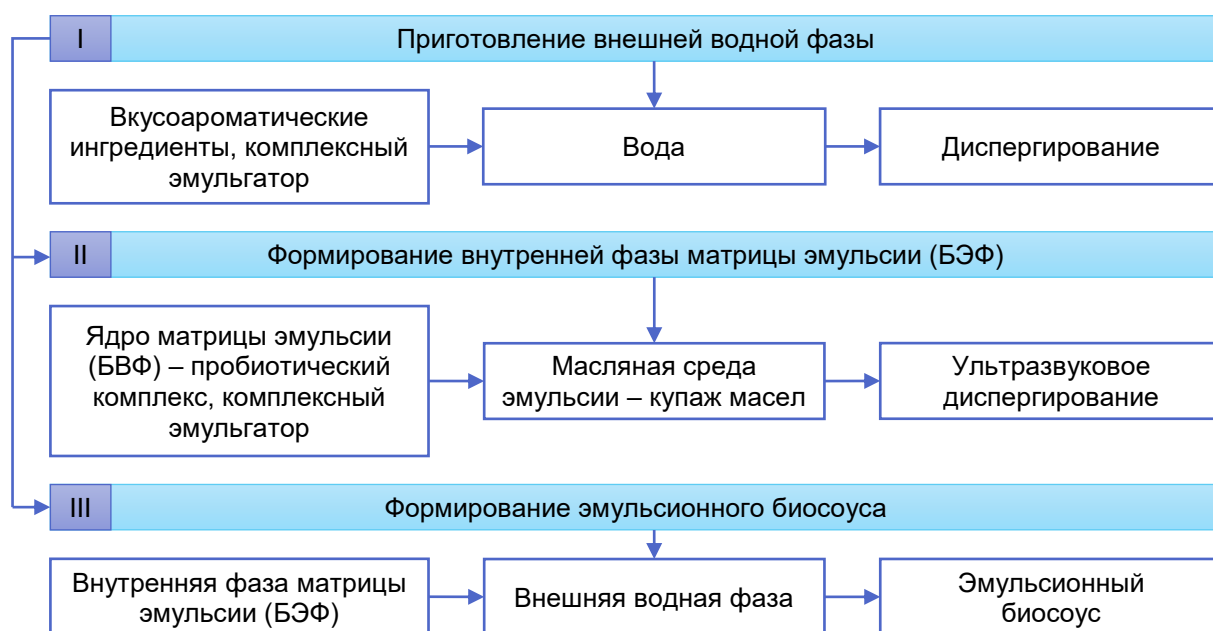


Рисунок 51 – Технология приготовления эмульсионного биосоуса

При отработке рецептуры эмульсионного биосоуса применялись различные соотношения ингредиентов с учетом отработанного пропорционального состава БЭПС В/М/В, представленного в таблице 11 (см. главу 4). В процессе отработки рецептуры, были получены три опытных образца, оптимальные по составу и различающиеся массовой долей пробиотического комплекса. В таблице 31 представлены рецептуры опытных образцов эмульсионных биосоусов.

Таблица 31 – Рецептуры модельных образцов эмульсионных биосоусов

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (в/м)	Внешняя фаза
Модельный образец 1		
Купаж масел 4	30,0	–
Вода	–	56,2
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Лимонная кислота	–	0,3
Соль	–	0,8
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	–	0,7
Пробиотический комплекс	10,0	–
<i>Итого</i>	41,0	59,0
Модельный образец 2		
Купаж масел 4	30,0	–
Вода	–	53,7
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Лимонная кислота	–	0,3
Соль	–	0,8
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	–	0,7
Пробиотический комплекс	12,5	–
<i>Итого</i>	43,5	56,5
Модельный образец 3		
Купаж масел 4	30,0	–
Вода	-	51,2
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Лимонная кислота	–	0,3
Соль	–	0,8
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	–	0,7
Пробиотический комплекс	15,0	–
<i>Итого</i>	46,0	54,0

Морфология полученного эмульсионного биосоуса представлена на рисунке 52.

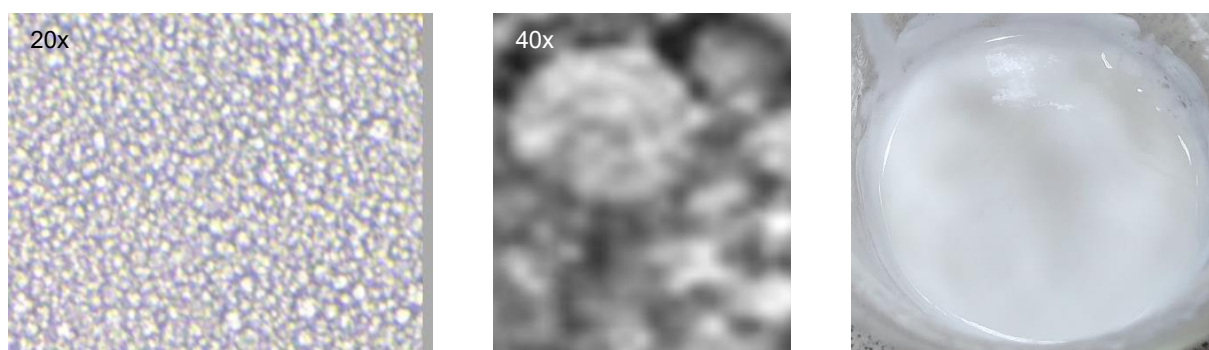


Рисунок 52 – Морфология (оптическая микроскопия) и внешний вид эмульсионного биосоуса на основе БЭПС В/М/В

При формировании эмульсионного соуса на основе БЭПС В/М/В в рецептуру дополнительно вносили вспомогательные ингредиенты (соль, лимонную кислоту, горчичный порошок), способствующие формированию органолептических характеристик продукта, при этом морфология эмульсионного биосоуса соответствовала морфологии БЭПС В/М/В, рассмотренной в главе 4.

7.1.2 Оценка качества эмульсионного биосоуса

По результатам сенсорного анализ модельных образцов эмульсионного биосоуса составлены органолептические профили (рисунок 53).

Модельные образцы эмульсионного биосоуса характеризовались гомогенной, плотной консистенцией со средней вязкостью, белым цветом с легким кремоватым оттенком, средней интенсивностью запаха, свойственной ингредиентам, гармоничным послевкусием, без салитого, со средней степенью кислотности.

Обеспечение жизнеспособности пробиотических микроорганизмов при хранении имеет решающее значение для их применения для обогащения пищевых продуктов. В связи с этим изучили динамику микробиологических показателей эмульсионного биосоуса в процессе хранения (рисунок 54).

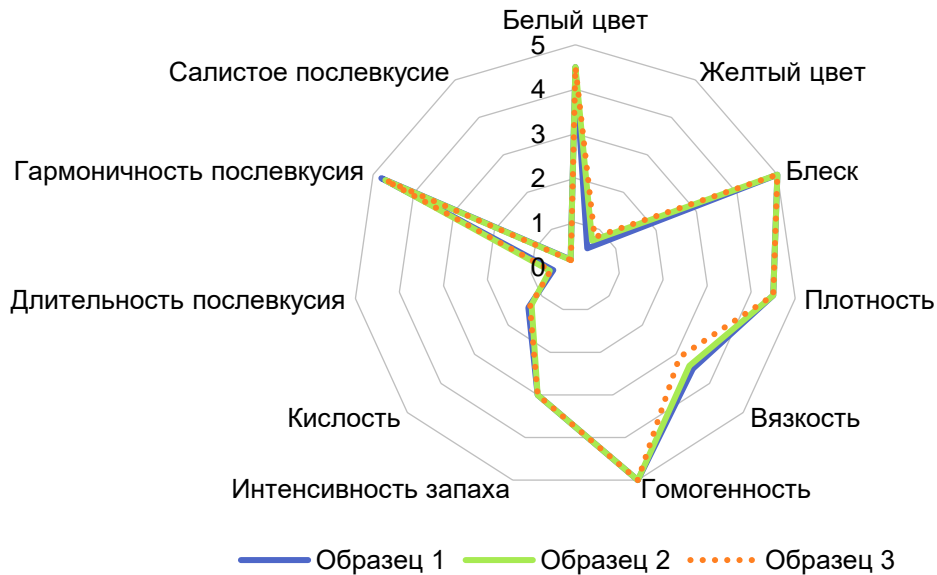


Рисунок 53 – Органолептические профили опытных образцов эмульсионного биосоуса

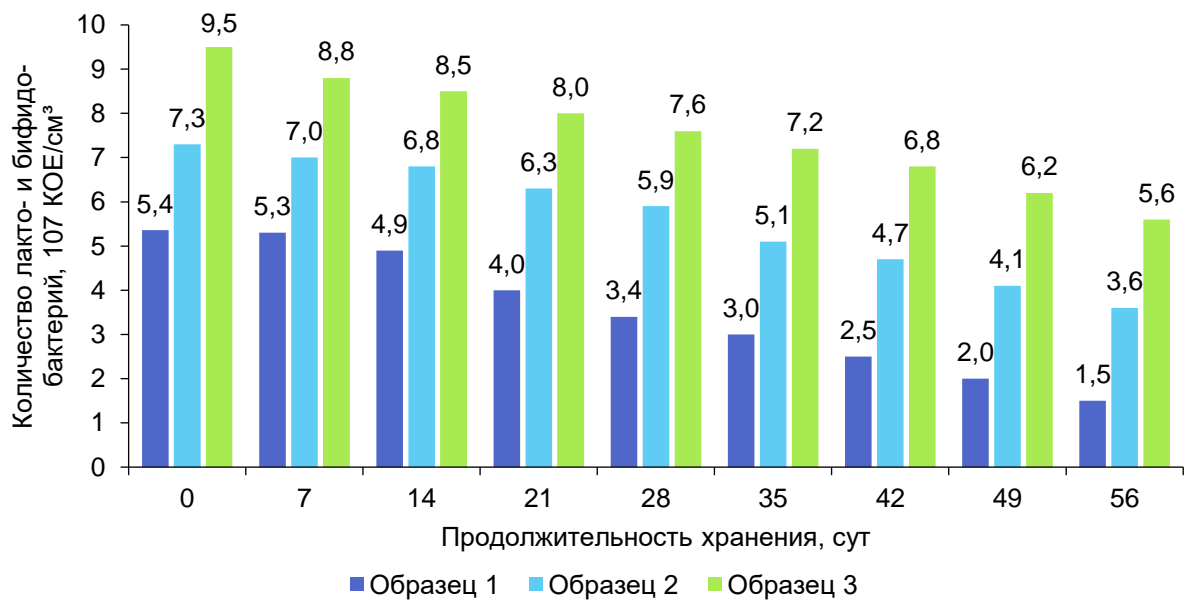


Рисунок 54 – Динамика содержания лакто- и бифидобактерий в эмульсионном биосоусе в процессе хранения

Как показывают статистические данные (таблица 32), значения содержания лакто- и бифидобактерий в эмульсионном биосоусе в процессе хранения находятся в большей части в средней плоскости рассеивания для всех исследуемых образцов. За пределы однородной совокупности выходит лишь значение данного показателя для 1 образца на 56-е сутки хранения. Продолжительность хранения оказывает зна-

чимое влияние на содержание лакто- и бифидобактерий исследуемых образцов биосоуса: сила влияния 94,15%; 89,74 и 94,32 соответственно ($p < 0,01$).

Таблица 32 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Количество лакто- и бифидобактерий, 10^7 КОЕ/см ³					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	$5,36 \pm 1,45^{e-i}$	27,05	$7,30 \pm 0,58^{f-i}$	7,95	$9,46 \pm 0,58^{f-i}$	6,13
7	$5,27 \pm 0,58^{f-i}$	11,01	$6,95 \pm 0,58^{ghi}$	8,35	$8,76 \pm 0,58^{f-i}$	6,62
14	$4,86 \pm 1,00^{ghi}$	20,58	$6,83 \pm 0,58^i$	8,49	$8,53 \pm 0,58^{f-i}$	6,80
21	$3,96 \pm 0,58^{hi}$	14,65	$6,33 \pm 1,15^i$	18,17	$8,00 \pm 0,01^{ghi}$	0,13
28	$3,35 \pm 0,58^{ai}$	17,31	$5,93 \pm 0,58^i$	9,78	$7,63 \pm 0,58^{hi}$	7,60
35	$3,00 \pm 0,58^{ab}$	19,33	$5,13 \pm 0,58^a$	11,31	$7,23 \pm 0,58^{abc}$	8,02
42	$2,54 \pm 0,01^{abc}$	0,39	$4,73 \pm 0,58^{ab}$	12,26	$6,83 \pm 0,58^{a-d}$	8,49
49	$1,96 \pm 0,58^{a-d}$	29,59	$4,10 \pm 0,01^{ab}$	0,24	$6,23 \pm 0,58^{a-e}$	9,31
56	$1,53 \pm 0,58^{a-e}$	37,91	$3,63 \pm 0,58^{a-e}$	15,98	$5,63 \pm 0,58^{a-e}$	10,30
Сила влияния, %	94,15 ($p < 0,01$)		89,74 ($p < 0,01$)		94,32 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-i$ по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).						

Количество бифидо- и лактобактерий после изготовления составляет $5,36 \cdot 10^7$ КОЕ/см³ у образца 1; $7,30 \cdot 10^7$ КОЕ/см³ и $9,46 \cdot 10^7$ КОЕ/см³ у образца 3. После 56 сут хранения при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ количество пробиотических бактерий в среднем снизилось на $3,8 \cdot 10^7$ КОЕ/см³. Такое снижение несущественно, в связи с чем можно заключить, что внешняя водная и масляная фазы обеспечивают физический барьер для инкапсулированных пробиотических микроорганизмов, изолируя их от внешней среды и тем самым способствуя их выживаемости.

Данный вывод основан на сравнении полученных результатов с результатами проведенных ранее исследований динамики содержания лакто- и бифидобактерий в биосоусе плюс, остаточное количество которых на 52-е сутки хранения составило 10^5 КОЕ/см³ [83; 125].

7.1.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности эмульсионного биосоуса

На основании проведенных исследований для эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами, установлены регламентируемые показатели качества, которые представлены в таблицах 33 и 34.

Таблица 33 – Регламентируемые органолептические показатели эмульсионных биосоусов

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид, консистенция	Однородный продукт со сметанообразной консистенцией с единичными пузырьками воздуха. Допускается наличие точечных вкраплений от горчицы
Вкус и запах	Гармоничные, слегка острый вкус, без следов горечи, свойственные продукту, без посторонних привкуса и запаха
Цвет	От светло-кремового до кремового
Массовая доля влаги, %	Не более 60
Массовая доля жира, %	Не менее 30
Кислотность в пересчете на лимонную кислоту, %	Не более 0,7
Стойкость эмульсии, % выделившегося жира	Не менее 97
Количество пробиотических микроорганизмов, КОЕ/г	Не менее $1,5 \cdot 10^7$

Таблица 34 – Регламентируемые показатели безопасности эмульсионных биосоусов

Наименование показателя	Допустимый уровень
Токсичные элементы, мг/кг, не более:	
свинец	0,3
мышьяк	0,1
кадмий	0,05
ртуть	0,05
Микотоксины, мг/кг:	
афлатоксин В1	0,005

Продолжение таблицы 34

Наименование показателя	Допустимый уровень
Пестициды, мг/кг: гексахлорциклогексан (α -, β -, γ -изомеры) ДДТ и его метаболиты	0,05 0,1
Радионуклиды, Бк/кг: цезий-137 стронций-90	60 80
Показатели окислительной порчи: перекисное число, мэкв/кг, не более кислотное число, КОН/г	10,0 0,6
Патогенные организмы, в том числе сальмонеллы	Не допускаются в 25 г
Плесневые грибы, КОЕ/г	Не более 50
Дрожжи, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^2$
БГКП	Не допускаются в 0,1 г

Для установления сроков годности проведены исследования показателей качества эмульсионных биосоусов в процессе хранения.

Опытные образцы эмульсионных биосоусов, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и укуренные пластиковой крышкой, были заложены на хранение в течение 4 мес. при температуре (4 ± 2) °С.

Оценка органолептических показателей качества опытных образцов эмульсионных биосоусов проводилась по разработанной пятибалльной шкале (приложение Ж) с применением профильного метода (коэффициент согласованности – 0,7 доверительной вероятности – 0,95).

Профилограммы органолептических показателей качества эмульсионных биосоусов представлены на рисунке 55.

Модельные образцы эмульсионных биосоусов имели гармоничные вкус и запах, достаточно вязкую консистенцию, однородный кремовый цвет практически не меняющиеся на протяжении всего периода хранения. Продолжительное хранение биосоусов приводило к появлению на 120-е сутки единичных пузырьков, что ухудшило оценки по показателю «внешний вид и консистенция».

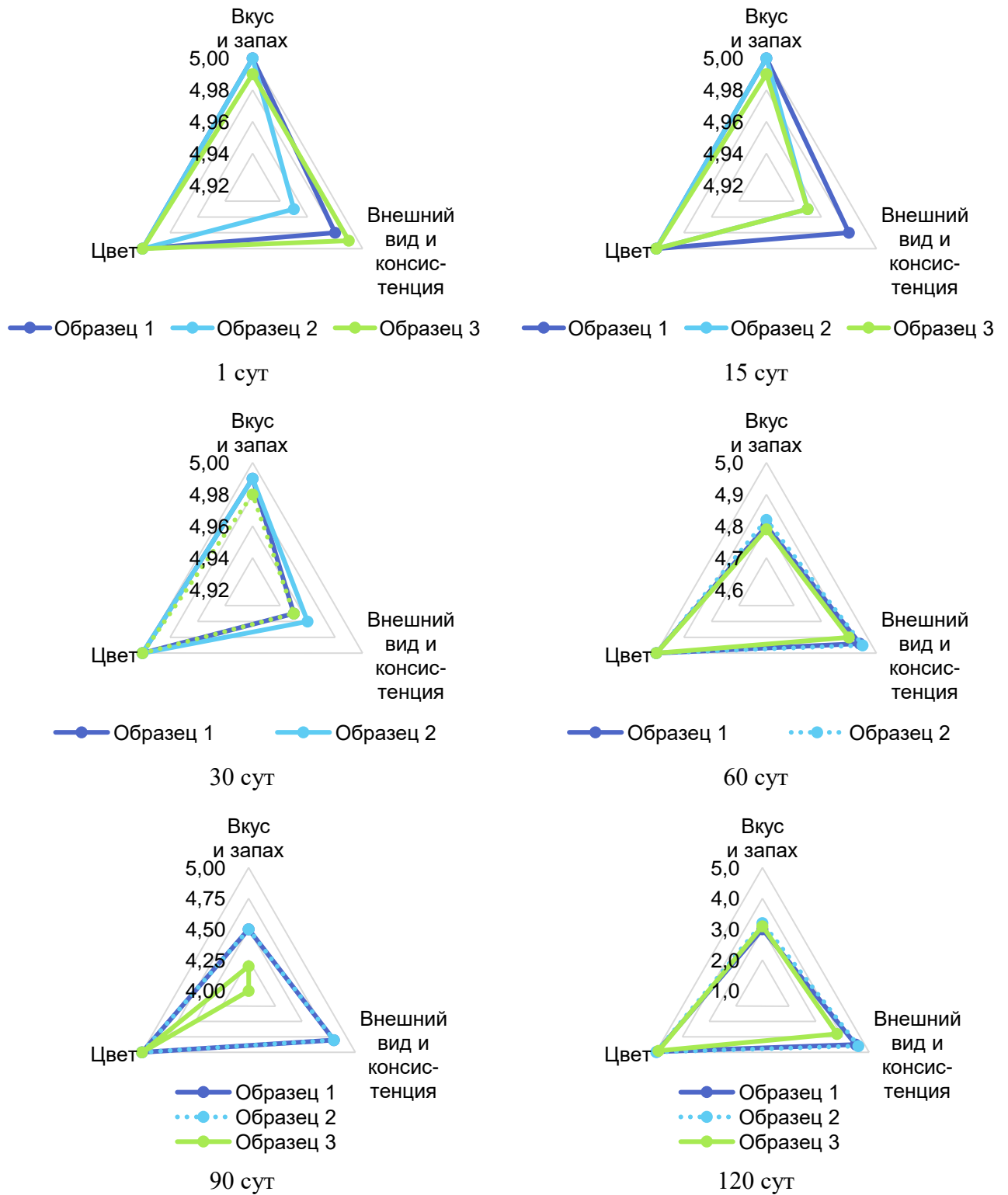


Рисунок 55 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов эмульсионных биосоусов в процессе хранения

С целью установления сроков годности разработанных биосоусов определяли динамику кислотности в процессе хранения. Результаты представлены на рисунке 56 и в таблице 35.

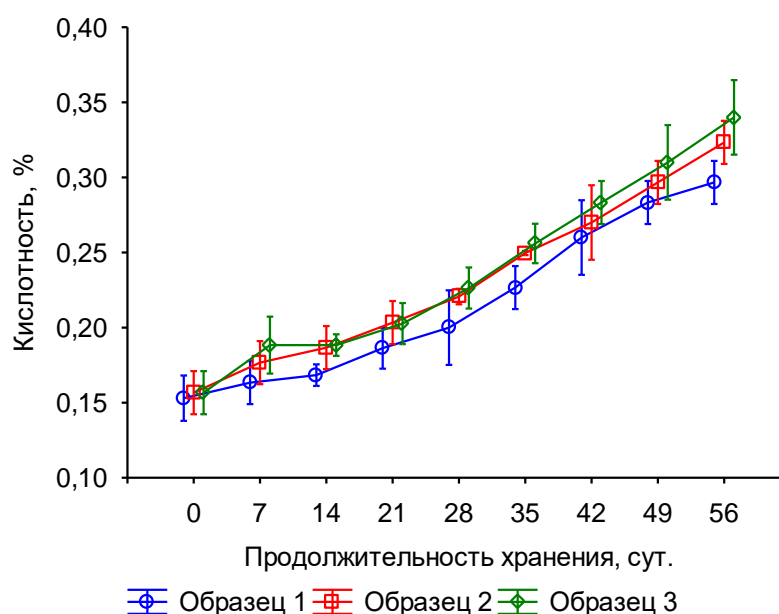


Рисунок 56 – Динамика кислотности эмульсионного биосоуса в процессе хранения

Таблица 35 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Кислотность, %					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	0,15 ± 0,01 ^{d-i}	3,98	0,16 ± 0,01 ^{b-i}	3,69	0,16 ± 0,01 ^{b-i}	3,69
7	0,16 ± 0,01 ^{d-i}	3,53	0,18 ± 0,01 ^{ad-i}	3,29	0,19 ± 0,01 ^{ae-i}	4,06
14	0,17 ± 0,003 ^{e-i}	1,71	0,19 ± 0,01 ^{ad-i}	3,09	0,19 ± 0,003 ^{ae-i}	1,53
21	0,19 ± 0,01 ^{abf-i}	2,96	0,20 ± 0,01 ^{abce-i}	2,84	0,20 ± 0,01 ^{ae-i}	2,72
28	0,20 ± 0,01 ^{abcf-i}	5,00	0,22 ± 0,002 ^{a-df-i}	0,94	0,23 ± 0,01 ^{a-df-i}	2,43
35	0,23 ± 0,01 ^{a-eghi}	2,55	0,25 ± 0,01 ^{a-eghi}	0,23	0,26 ± 0,01 ^{a-eghi}	2,07
42	0,26 ± 0,01 ^{a-fhi}	3,85	0,27 ± 0,01 ^{a-fhi}	3,70	0,28 ± 0,01 ^{a-fhi}	2,04
49	0,28 ± 0,01 ^{a-g}	2,04	0,30 ± 0,01 ^{a-gi}	1,95	0,31 ± 0,01 ^{a-gi}	3,23
56	0,30 ± 0,01 ^{a-g}	1,95	0,32 ± 0,01 ^{a-h}	1,79	0,34 ± 0,01 ^{a-h}	2,94
Сила влияния, %	99,48 ($p < 0,01$)		99,65 ($p < 0,01$)		99,60 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-i$ по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).						

Изменчивость вариационного ряда значений кислотности в эмульсионном биосоусе в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на кислотность исследуемых образцов биосоуса: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$).

В процессе хранения кислотность всех модельных образцов эмульсионных био-соусов увеличивалась в среднем на 0,02 % за каждые 7 сут. На 56-е сутки ее значения превышали допустимые уровни у всех образцов, что приводит к ограничению сроков годности 49-ю сутками, несмотря на более продолжительную стабильность органолептических показателей.

Динамика стойкости эмульсии модельных образцов имела тенденцию к снижению с увеличением продолжительности хранения (рисунок 57, таблица 36).

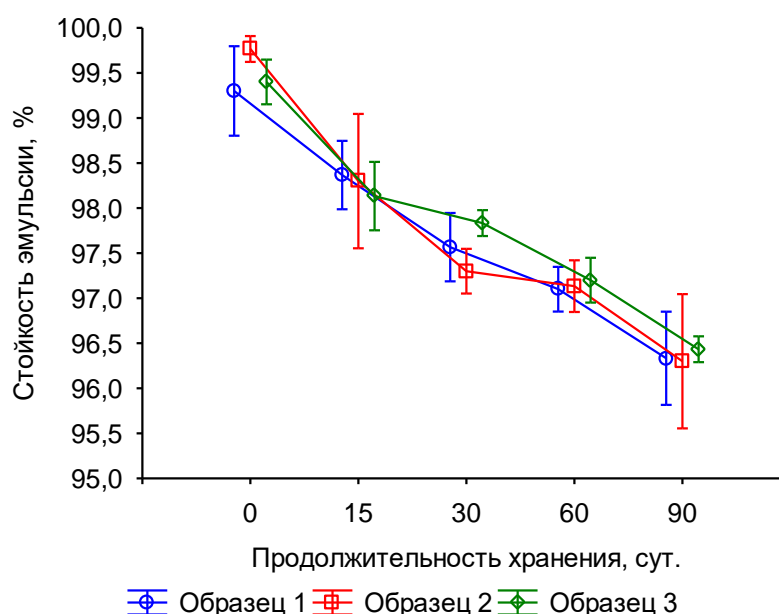


Рисунок 57 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов эмульсионных соусов в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 36 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Стойкость эмульсии, %					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	99,30 ± 0,20 ^{b-e}	0,20	99,77 ± 0,06 ^{b-e}	0,06	99,40 ± 0,10 ^{b-e}	0,10
15	98,37 ± 0,15 ^{acde}	0,16	98,30 ± 0,30 ^{acde}	0,31	98,13 ± 0,15 ^{acde}	0,16
30	97,57 ± 0,15 ^{abde}	0,16	97,30 ± 0,10 ^{abe}	0,10	97,83 ± 0,06 ^{abde}	0,06
60	97,10 ± 0,10 ^{abce}	0,10	97,13 ± 0,12 ^{abe}	0,12	97,20 ± 0,10 ^{abce}	0,10
90	96,33 ± 0,21 ^{a-d}	0,22	96,30 ± 0,30 ^{abcd}	0,31	96,43 ± 0,06 ^{a-d}	0,06
Сила влияния, %	99,29 ($p < 0,01$)		99,22 ($p < 0,01$)		99,73 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a-e по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Изменчивость вариационного ряда значений стойкости эмульсии в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии исследуемых образцов биосоуса: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$). На протяжении 60 сут значение данного показателя находилось в пределах допустимых уровней. На 90-е сутки хранения значения показателя не соответствовали нормативным требованиям у всех исследуемых образцов. Таким образом, период, в течение которого образцы биосоусов соответствуют установленным требованиям, ограничен 60-ю сутками.

В таблице 37 приведены результаты исследований микробиологических показателей качества разработанных эмульсионных биосоусов в процессе хранения.

Таблица 37 – Микробиологические показатели качества эмульсионных биосоусов в процессе хранения

Показатель	Образец	ДУ	Продолжительность хранения, сут				
			15	30	60	90	120
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³)	1	Не более $1 \cdot 10^5$	Не обнаружено		$1,73 \cdot 10^2$	$1,23 \cdot 10^3$	$1,99 \cdot 10^4$
	2		Не обнаружено		$1,34 \cdot 10^2$	$2,67 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^4$
	3		Не обнаружено		$1,58 \cdot 10^2$	$4,19 \cdot 10^3$	$2,44 \cdot 10^4$
БГКП	1	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				
Дрожжи, КОЕ/г	1	Не более $5 \cdot 10^2$	15	20	50	60	80
	2		15	25	3	4	5
	3		20	30	2	6	8
Плесневые грибы, КОЕ/г	1	Не более 50	–	2	3	5	7
	2		–	1	–	1	1
	3		–	1	1	2	2
Патогенные, в том числе сальмонеллы	1	Не допускаются в 25 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				

На протяжении всего периода хранения (120 сут) при температуре (4 ± 2) °С микробиологические показатели модельных образцов соусов оставались в пределах допустимых уровней.

На основании исследования органолептических, микробиологических и физико-химических показателей качества эмульсионных биосоусов установлен срок их годности – 38 сут с учетом коэффициента запаса 1,2.

7.2 Разработка и оценка качества эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

7.2.1 Разработка рецептуры и технологии эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

Основу эмульсионного соуса составляет БЭПС М/В/М, содержащая в качестве непрерывной внешней масляной фазы купаж масел (варианты 1–3), оптимизированных по соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, и внутреннюю масляную фазу, состоящую из рыбьего жира, диспергированную в водной фазе.

Технология приготовления эмульсионного соуса включает следующие стадии:

- приготовление водной фазы, содержащей вкусоароматические добавки и комплексный эмульгатор;
- комбинирование внутренней масляной фазы с водной фазой и ультразвуковое диспергирование для получения стабилизированной внутренней фазы матрицы эмульсии типа М/В – БЭФ;
- эмульгирование внутренней фазы матрицы эмульсии – БЭФ во внешней масляной фазе, содержащей эмульгатор – глицериды жирных кислот (рисунок 58).

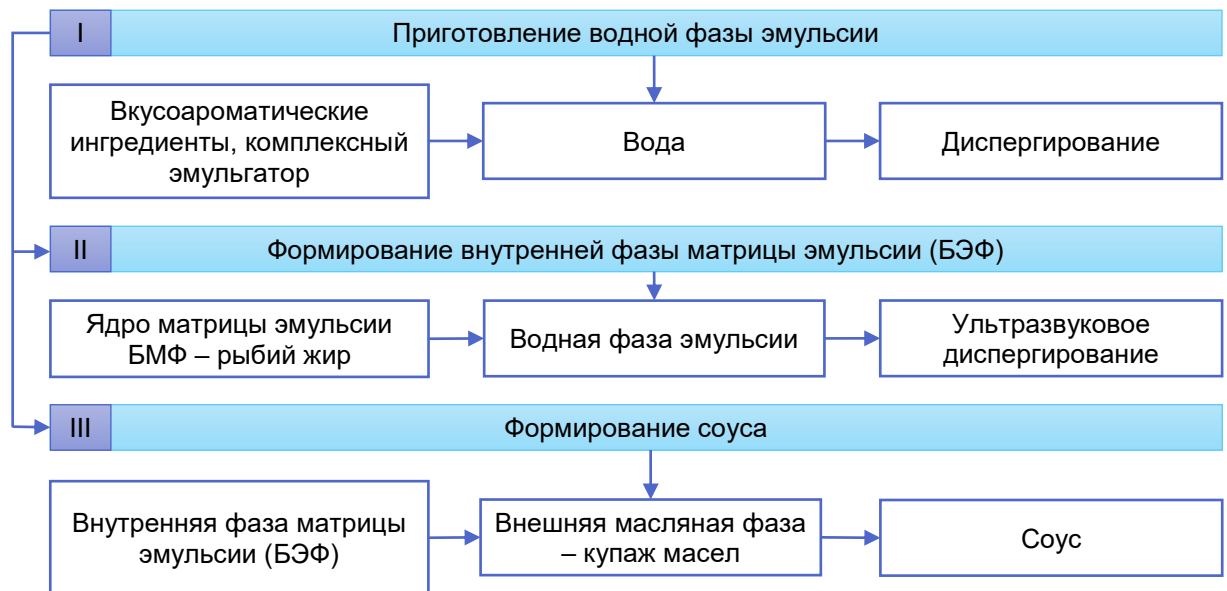


Рисунок 58 – Технология приготовления эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

При отработке рецептуры эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами применялись различные соотношения ингредиентов с учетом отработанного пропорционального состава БЭПС М/В/М, в таблице 11 (см. главу 4). Были получены опытные образцы на основе различных вариантов купажей масел. В таблице 38 представлены рецептуры трех оптимальных опытных образцов эмульсионных соусов.

Таблица 38 – Рецептуры опытных образцов эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (м/в)	Внешняя фаза (м)
Образец 1		
Купаж масел 1	–	56,5
Вода	20,0	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Лимонная кислота	0,3	–
Соль	1,15	–
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	6,5
Сахар-песок	1,5	–

Продолжение таблицы 38

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (м/в)	Внешняя фаза (м)
Натрий двууглекислый	0,05	
Рыбий жир	12,0	
<i>Итого</i>	37,0	63,0
Образец 2		
Купаж масел 2	–	56,5
Вода	20,0	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Лимонная кислота	0,3	–
Соль	1,15	–
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	6,5
Сахар-песок	1,5	
Натрий двууглекислый	0,05	
Рыбий жир	12,0	
<i>Итого</i>	37,0	63,0
Образец 3		
Купаж масел 3	–	56,5
Вода	–	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Лимонная кислота	0,3	–
Соль	1,15	–
Пряноароматические добавки (горчичный порошок)	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	6,5
Сахар-песок	1,5	
Натрий двууглекислый	0,05	
Рыбий жир	12,0	
<i>Итого</i>	37,0	63,0

Варианты купажа масел с заданным соотношением БАВ и ингредиенты, направленные на формирование органолептических свойств, не оказывали отрицательного влияния на формирование морфологии готового соуса, которая полностью соответствовала морфологии БЭПС М/В/М, представленной в главе 4.

Морфология эмульсионного соуса на основе БЭПС М/В/М представлена на рисунке 59.

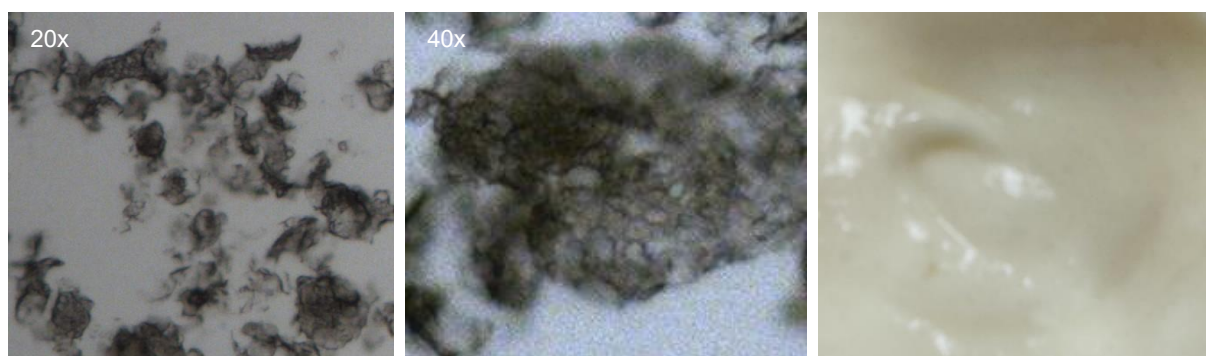


Рисунок 59 – Морфология (оптическая микроскопия) и внешний вид эмульсионного соуса на основе БЭПС М/В/М

7.2.2 Оценка качества эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

Проведен сенсорный анализ опытных образцов эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами, по результатам которого составлены органолептические профили, представленные на рисунке 60.

Интенсивность запаха у всех опытных образцов была незначительной (3 балла), запах рыбьего жира не ощущался.

Вкус концентрировался на средней части языка, в связи с чем интенсивность послевкусия была выражена меньше (30–40 каудаль), оно было гармоничным (4 балла), с непродолжительной долготой (1 балл), салистое послевкусие отсутствовало (0,3 балла), тон рыбьего жира был практически не выражен (1,3–1,4).

Цвет опытных образцов соуса был белым с более выраженным желтым оттенком для образцов 2 и 3 согласно используемым в рецептуре купажем масел.

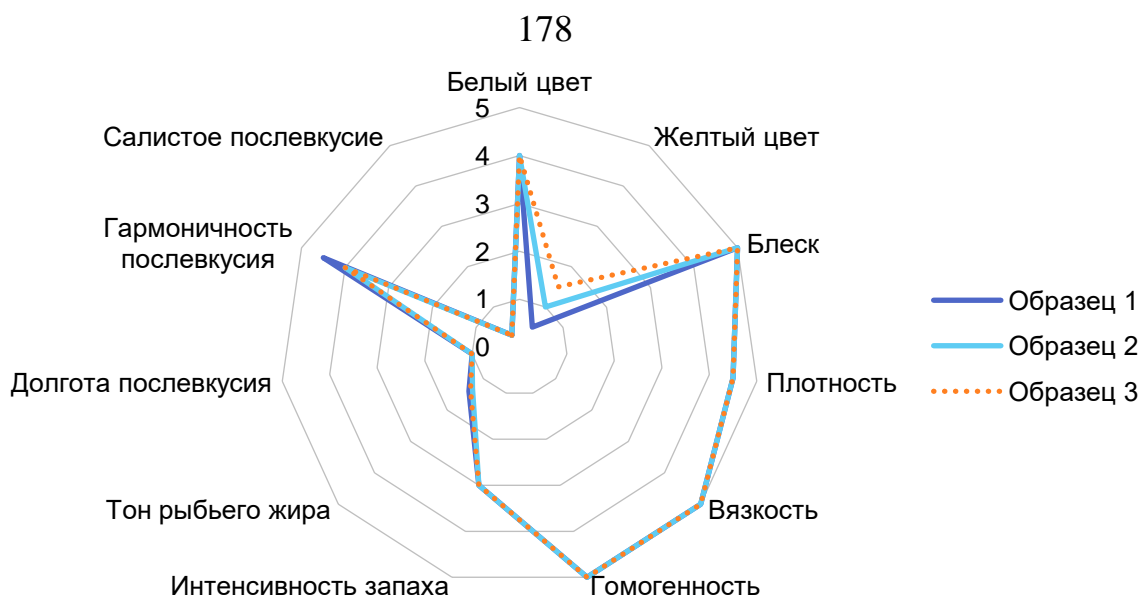


Рисунок 60 – Органолептические профили опытных образцов эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

Из анализа газовых хроматограмм и идентификации масс-спектров жирных кислот выявлено, что основными жирными кислотами опытных образцов эмульсионных соусов являются пальмитиновая – С 16:0, стеариновая – С 18:0, олеиновая – С18:1 ω-9, линолевая – С 18:2 ω-6, α-линоленовая – С 18:2 ω-3 эйкозапентаеновая – С 20:5 ω-3 и докозагексаеновая – С 22:6 ω-3 (таблица 39).

Таблица 39 – Жирнокислотный состав эмульсионных соусов

Наименование кислоты	Содержание, % от суммы		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Сумма насыщенных жирных кислот	6,97 ± 0,15	6,79 ± 0,34	5,62 ± 0,34
Пальмитиновая	4,99 ± 0,13	4,97 ± 0,35	4,52 ± 0,11
Стеариновая	1,98 ± 0,05	1,82 ± 0,07	1,10 ± 0,10
Сумма ненасыщенных жирных кислот	48,27 ± 0,20	47,82 ± 0,47	45,87 ± 0,33
Олеиновая	14,62 ± 0,06	14,84 ± 0,19	18,74 ± 0,10
Линолевая	26,93 ± 0,04	27,19 ± 0,13	20,26 ± 0,13
α-линоленовая	4,11 ± 0,10	3,20 ± 0,09	4,27 ± 0,08
ЭПК и ДГК	2,61 ± 0,04	2,59 ± 0,16	2,60 ± 0,09

Как видно из таблицы 39, общее количество насыщенных жирных кислот в эмульсионных соусах находится в пределах 5,28–7,12 %, а ненасыщенных жир-

ных кислот – 45,5–48,5 %. Доля ЭПК и ДГК вместе взятых различается незначительно у опытных образцов (ввиду одинакового содержания в их рецептуре источника ЭПК и ДГК – рыбьего жира) и составила в среднем 2,60 %.

Проведен анализ содержания незаменимых жирных кислот, ω -3 жирных кислот, ЭПК и ДГК в опытных образцах эмульсионных соусов в соответствии с установленными нормами их потребления, а также установлена степень удовлетворения суточной потребности. Результаты представлены на рисунках 61–63. При этом за норму суточной потребности принималось среднее значение установленных нормативов для взрослого человека. Расчет степени удовлетворения суточной потребности производился на 100 г эмульсионных соусов и на порцию 15 г согласно сборнику рецептов.

Содержание ПНЖК в эмульсионных соусах различается незначительно и составляет у образца 1 – 48,27 г, образца 2 – 47,82 г и у образца 3 – 45,87 г на 100 г продукта, что в 2 раза превышает суточную норму потребления и степень удовлетворения потребности в ПНЖК составляет от 204,4 % до 215,11 %. Порция эмульсионного соуса позволяет удовлетворить в среднем 32 % суточной потребности в ПНЖК, при этом различие в опытных образцах незначительное (рисунок 61).

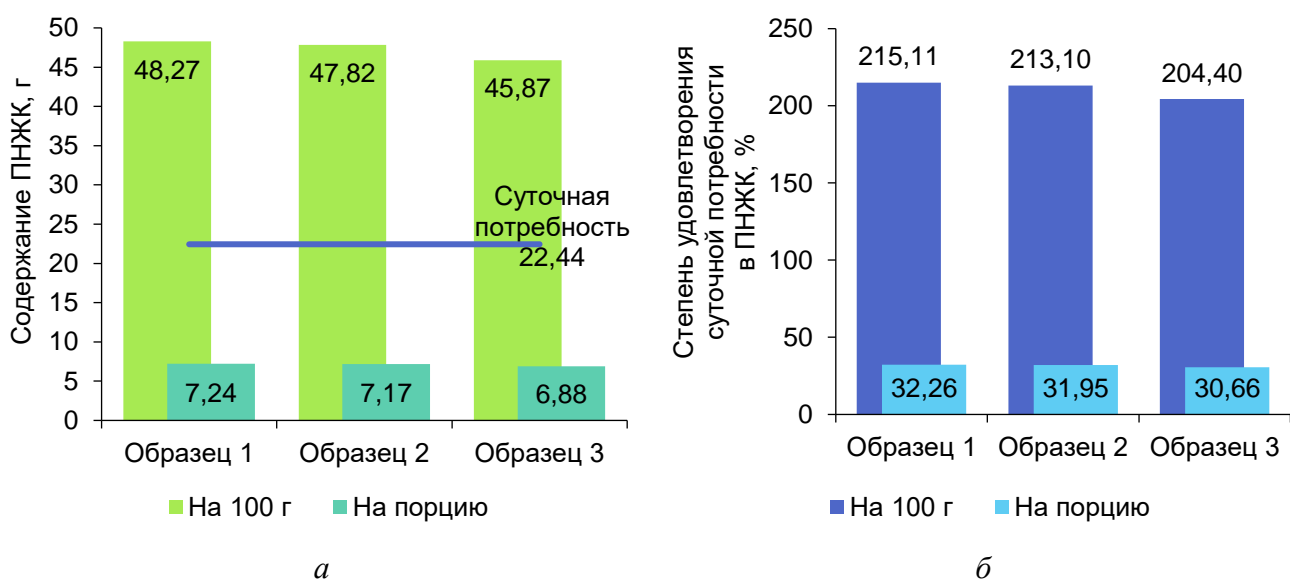


Рисунок 61 – Содержание ПНЖК (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

Таким образом, при употреблении одной порции в день в составе блюда любого из опытных образцов эмульсионных соусов позволяет удовлетворить потребность в ПНЖК среднестатистического взрослого человека.

На рисунке 62 представлены результаты анализа содержания ω -3 жирных кислот в опытных образцах эмульсионных соусов, а также степень удовлетворения их суточной потребности при употреблении 100 г и порции эмульсионных соусов.

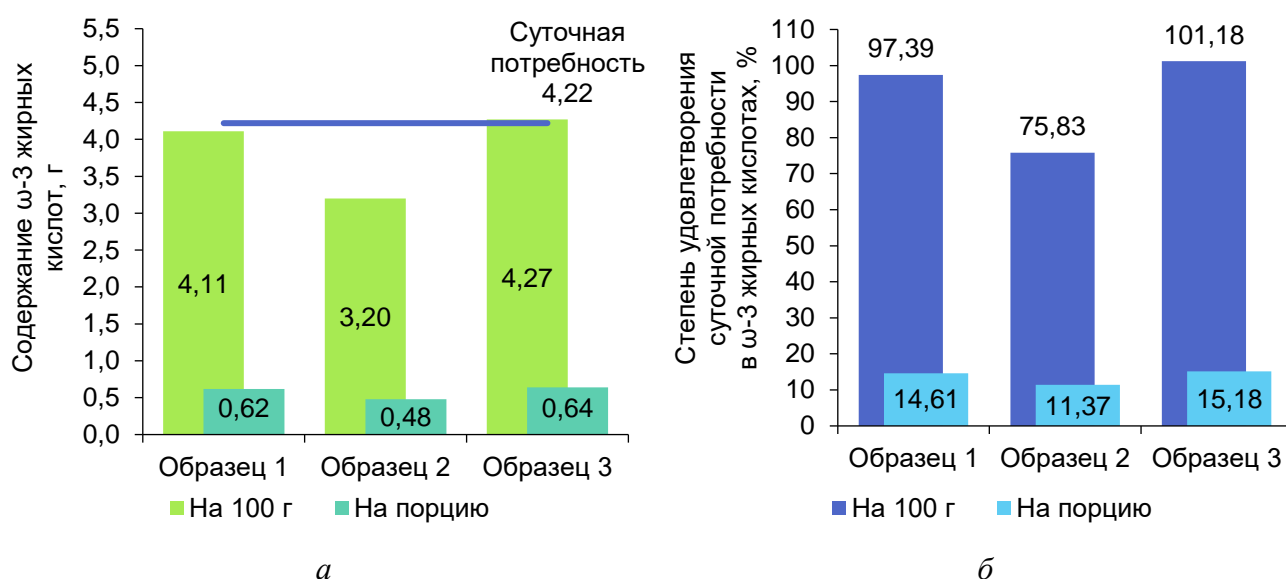


Рисунок 62 – Содержание ω -3 жирных кислот (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

Результаты анализа показывают, что опытный образец 3 содержит в своем составе количество ω -3 жирных кислот, чуть превышающее среднюю норму их потребления, и, таким образом, позволяет удовлетворить 101,18 % суточной потребности при употреблении его в количестве 100 г в сутки. При употреблении одной порции данного опытного образца эмульсионного соуса суточная потребность в ω -3 жирных кислотах удовлетворяется на 15,2 %. Опытный образец 1 удовлетворяет суточную потребность в ω -3 жирных кислотах практически на 100 % за счет их содержания в 100 г в количестве близком к суточной норме. Порция же данного соуса позволяет удовлетворить 15 % суточной нормы в ω -3 жирных кислотах. Образец 2 содержит меньшее количество ω -3 жирных кислот – 3,2 г в 100 г

и 0,48 г в порции и поэтому употреблении порции такого соуса потребность в ω -3 удовлетворяется на 11,4 %, а 100 г – на 75,83 %.

На рисунке 63 представлены результаты анализа содержания ЭПК и ДГК в опытных образцах эмульсионных соусов и степеней удовлетворения суточной потребности в них при употреблении 100 г и одной порции – 15 г в составе блюд.

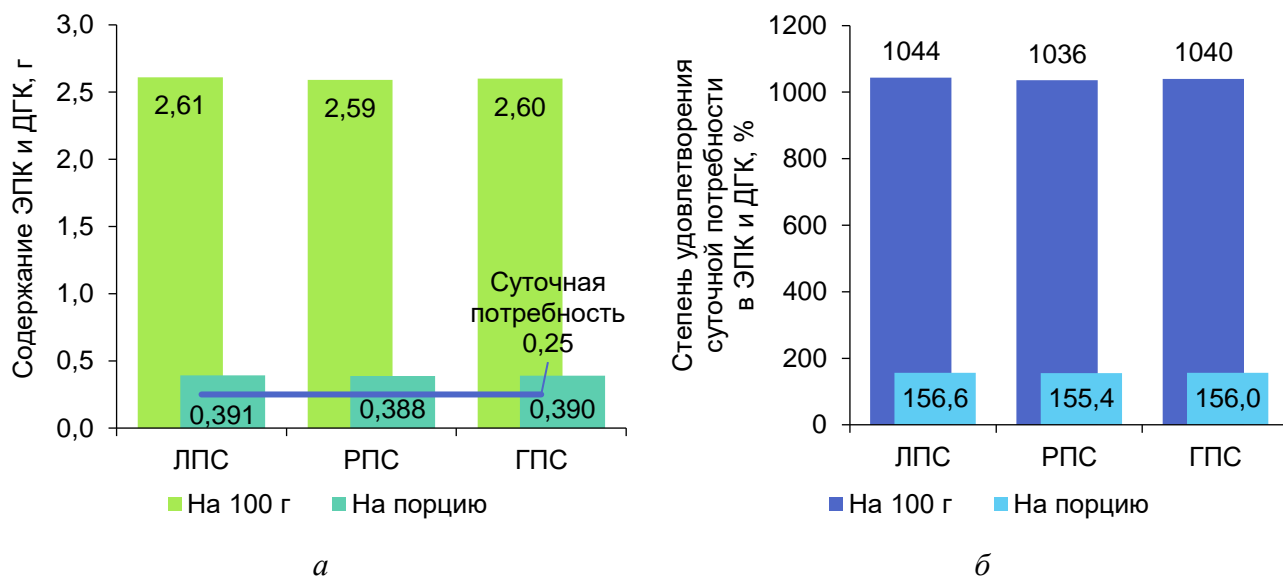


Рисунок 63 – Содержание ЭПК и ДГК (а) и степень удовлетворения суточной потребности в них при употреблении эмульсионных соусов (б)

Результаты исследования показывают, что содержание ЭПК и ДГК во всех опытных образцах эмульсионных соусов находится на одном уровне ввиду того, что в рецептурах соусов находится одинаковое количество (10 мас.%) основного их источника – рыбьего жира. Такое количество позволяет удовлетворить суточную потребность в ЭПК и ДГК в среднем на 156 % при употреблении одной порции любого из опытных образцов эмульсионных соусов [131].

7.2.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами

На основании проведенных исследований для эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами, установлены регламентируемые показатели качества (таблица 40). Регламентируемые показатели безопасности аналогичны показателям, установленным для эмульсионных биосоусов (см. таблицу 34).

Таблица 40 – Регламентируемые органолептические показатели эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид, консистенция	Однородный продукт с консистенцией типа густой сметаны с единичными пузырьками воздуха. Допускается наличие точечных вкраплений от горчицы
Вкус и запах	Гармоничные, слегка острый вкус, без следов горечи, свойственные продукту, без посторонних привкуса и запаха
Цвет	От светло-кремового до желтовато-кремового
Массовая доля влаги, %	Не более 25
Массовая доля жира, %	Не менее 62
Кислотность в пересчете на лимонную кислоту, %	Не более 0,70
Стойкость эмульсии, % выделившегося жира	Не менее 97
Содержание ЭПК и ДГК, мас.%	Не менее 2,5

Для установления сроков годности исследовали показатели качества эмульсионных соусов, обогащенных омега-3 жирными кислотами в процессе хранения. Опытные образцы соусов, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и укупореженные пластиковой крышкой, были заложены на хранение в течение 4 мес. при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Оценка органолептических показателей качества опытных образцов эмульсионных соусов проводилась по пятибалльной шкале с применением профильного

метода (коэффициент согласованности – 0,7 доверительной вероятности – 0,95). Профилограммы органолептических показателей качества эмульсионных соусов представлены на рисунке 64.

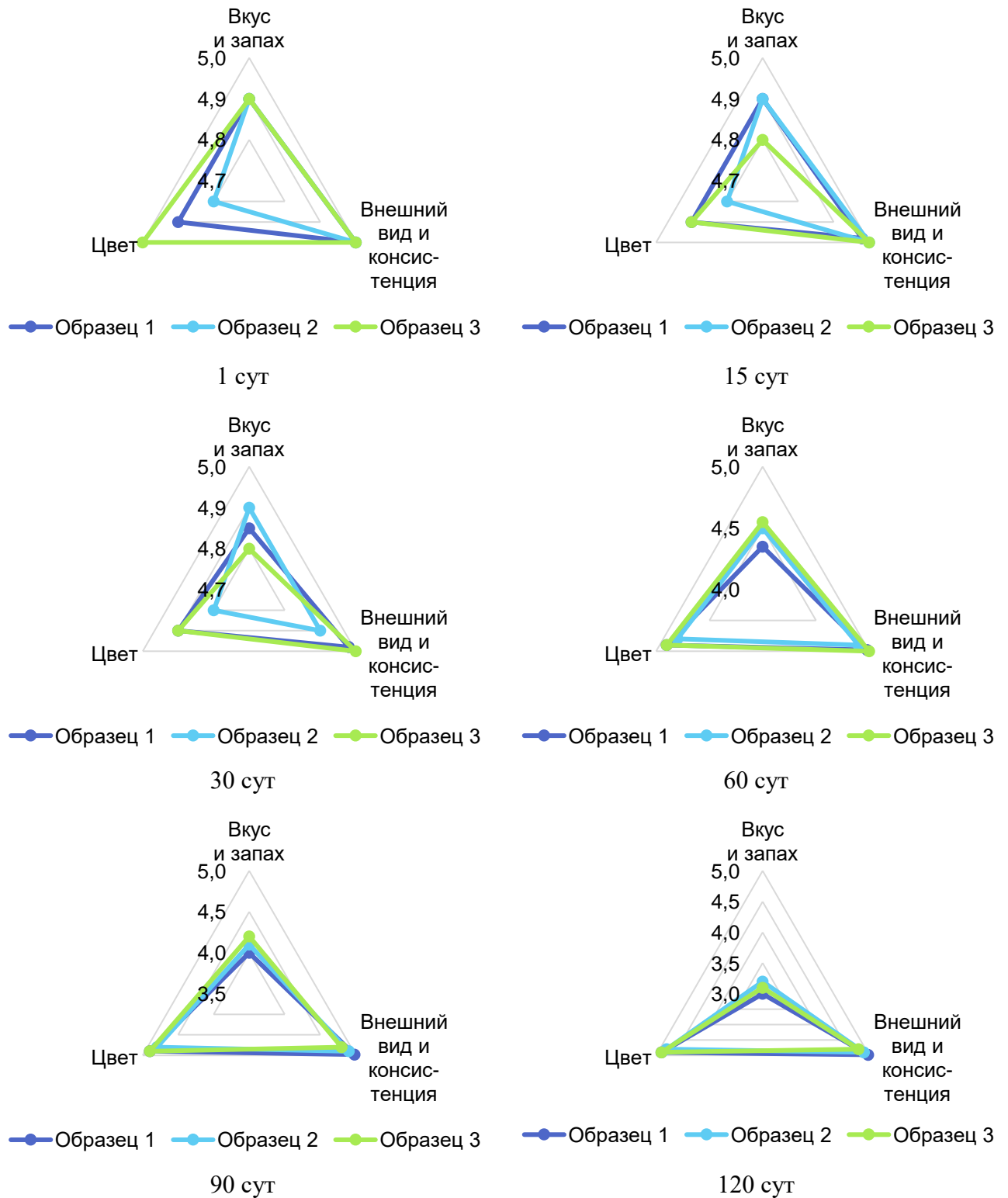


Рисунок 64 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов эмульсионных соусов в процессе хранения

Сенсорный анализ показал, что все опытные образцы имеют высокие значения органолептических показателей: однородную консистенцию, приятные вкус и запах, свойственные входящим в рецептуру компонентам, практически не изменяющиеся на протяжении 90 сут.

С целью установления сроков годности разработанных соусов определяли динамику окисления в процессе хранения. Результаты представлены на рисунке 65.

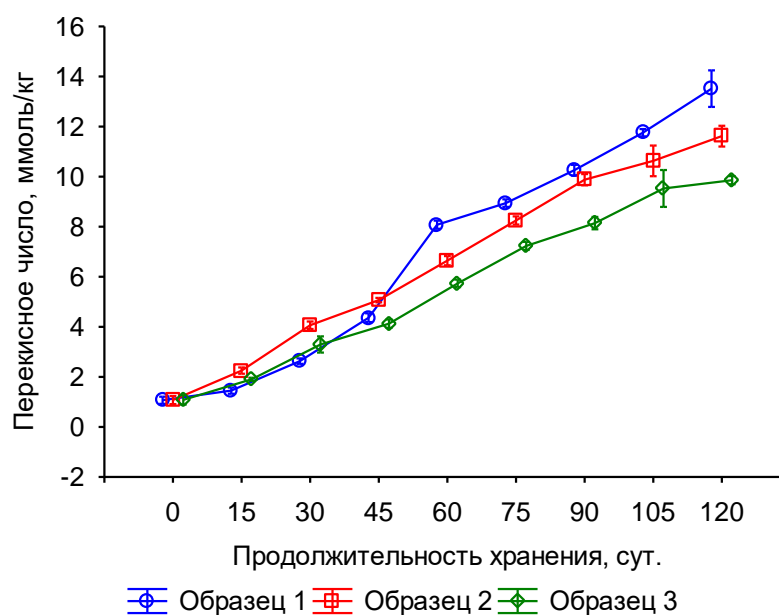


Рисунок 65 – Динамика значений перекисного числа опытных образцов эмульсионных соусов в зависимости от продолжительности хранения

Изменчивость вариационного ряда значений перекисного числа в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на перекисное число исследуемых образцов био-соуса: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$) (таблица 41).

Из представленного графика (см. рисунок 65) видно, что значения перекисного числа стабильно увеличиваются примерно с одинаковым темпом с даты производства соусов в течение всего периода хранения. Учитывая, что регламентированное значение перекисного числа составляет не более 10 мэкв/кг, на 105-е сутки хранения у опытных образцов 1 и 2 уже отмечалось несоответствие установленным требованиям.

Таблица 41 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Перекисное число, ммоль/кг					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	1,07 ± 0,06 ^{b-i}	5,41	1,07 ± 0,06 ^{b-i}	5,99	1,08 ± 0,08 ^{b-i}	7,05
15	1,45 ± 0,05 ^{ac-i}	3,45	2,25 ± 0,05 ^{ac-i}	2,22	1,90 ± 0,03 ^{ac-i}	1,32
30	2,63 ± 0,04 ^{abd-i}	1,66	4,06 ± 0,06 ^{abd-i}	1,48	3,29 ± 0,13 ^{abd-i}	3,96
45	4,36 ± 0,07 ^{abce-i}	1,3	5,07 ± 0,04 ^{abce-i}	0,69	4,13 ± 0,07 ^{abce-i}	1,61
60	8,08 ± 0,07 ^{a-df-i}	0,81	6,64 ± 0,07 ^{a-df-i}	1,11	5,74 ± 0,06 ^{a-df-i}	1,05
75	8,94 ± 0,06 ^{a-eg-i}	0,67	8,25 ± 0,07 ^{a-eg-i}	0,79	7,23 ± 0,07 ^{a-eg-i}	0,90
90	9,36 ± 0,09 ^{a-fhi}	0,84	9,38 ± 0,09 ^{a-fhi}	0,92	8,14 ± 0,10 ^{a-fhi}	1,23
105	11,76 ± 0,06 ^{a-gi}	0,50	10,63 ± 0,25 ^{a-gi}	2,32	9,53 ± 0,30 ^{a-g}	3,12
120	13,52 ± 0,29 ^{a-h}	2,17	11,62 ± 0,17 ^{a-h}	1,44	9,86 ± 0,07 ^{a-g}	0,67
Сила влияния, %	99,98 ($p < 0,01$)		99,97 ($p < 0,01$)		99,95 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a-i* по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Стойкость эмульсии свежеприготовленных соусов находилась в диапазоне 99,3–99,8 % (рисунок 66, таблица 42).

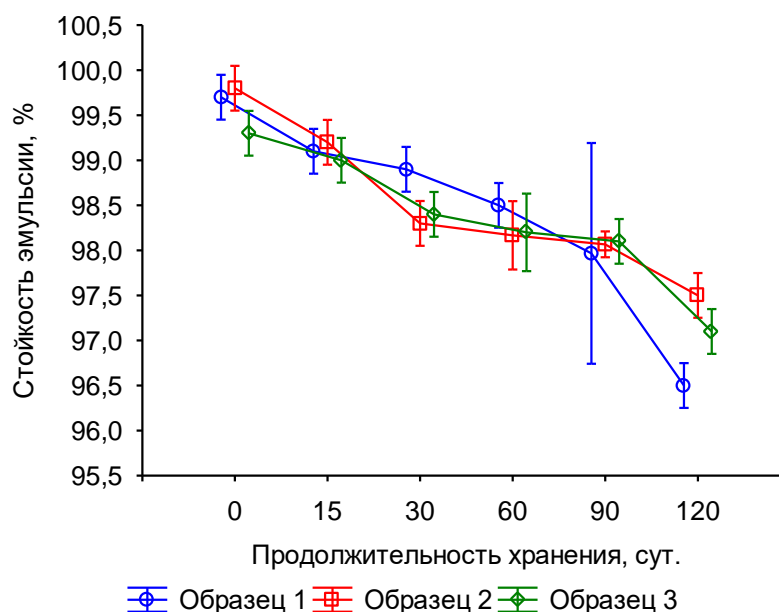


Рисунок 66 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов эмульсионных соусов в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 42 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Стойкость эмульсии, %					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	99,70 ± 0,10 ^{c-f}	0,10	99,80 ± 0,10 ^{b-f}	0,10	99,30 ± 0,10 ^{c-f}	0,10
15	99,10 ± 0,10 ^{ef}	0,10	99,20 ± 0,10 ^{ac-f}	0,10	99,00 ± 0,10 ^{c-f}	0,10
30	98,90 ± 0,10 ^{af}	0,10	98,30 ± 0,10 ^{abf}	0,10	98,40 ± 0,10 ^{abf}	0,10
60	98,50 ± 0,10 ^{af}	0,10	98,17 ± 0,15 ^{abf}	0,16	98,20 ± 0,17 ^{abf}	0,18
90	97,97 ± 0,49 ^{abcf}	0,50	98,07 ± 0,06 ^{abf}	0,06	98,10 ± 0,10 ^{abf}	0,10
120	96,50 ± 0,10 ^{a-e}	0,10	97,50 ± 0,10 ^{a-e}	0,10	97,10 ± 0,10 ^{a-e}	0,10
Сила влияния, %	98,71 ($p < 0,01$)		99,48 ($p < 0,01$)		99,26 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (<i>a-f</i> – по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).						

На протяжении последующих 90 сут наблюдалось некоторое снижение доли неразрушенной эмульсии на 2,3–2,4 %. Однако значения находились в рамках регламентируемых. На 120-е сутки хранения произошло значительное снижение значений, которые находились за пределами установленных требований.

Изменчивость вариационного ряда значений стойкости эмульсии в процессе хранения в большинстве случаев незначительна у всех исследуемых образцов, на 60-е сутки у образцов 2 и 3 она относится к средней, у образца 1 на 90-е сутки неоднородна. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии исследуемых образцов соуса: сила влияния для образца 1 – 98,71 %, для образцов 2 и 3 – более 99 % ($p < 0,01$).

В таблице 43 представлены результаты исследований микробиологических показателей качества разработанных соусов в процессе хранения.

Таблица 43 – Микробиологические показатели качества эмульсионных соусов в процессе хранения

Показатель	Образец	ДУ	Продолжительность хранения, сут				
			15	30	60	90	120
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³)	1	Не более 1·10 ⁵	Не обнаружено		1,63·10 ²	1,18·10 ³	1,75·10 ⁴
	2		Не обнаружено		1,49·10 ²	3,08·10 ³	2,60·10 ⁴
	3		Не обнаружено		1,61·10 ²	5,29·10 ³	1,84·10 ⁴

Продолжение таблицы 43

Показатель	Образец	ДУ	Продолжительность хранения, сут				
			15	30	60	90	120
БГКП	1	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				
Дрожжи, КОЕ/г	1	Не более $5 \cdot 10^2$	10	20	30	50	60
	2		5	5	10	20	25
	3		20	30	50	80	$1 \cdot 10^2$
Плесневые грибы, КОЕ/г	1	Не более 50	–	1	1	2	2
	2		–	–	–	1	1
	3		–	1	1	2	2
Патогенные, в том числе сальмонеллы	1	Не допускаются в 25 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				

На протяжении всего периода хранения (120 сут) при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ микробиологические показатели опытных образцов соусов оставались в пределах допустимых уровней.

Исследования органолептических, микробиологических показателей, показателя, характеризующего степень окисления, и стойкости эмульсии позволили установить срок годности разработанных соусов – 75 сут с учетом коэффициента запаса 1,2.

7.3 Разработка и оценка качества крема на растительных маслах

7.3.1 Разработка рецептуры и технологии крема на растительных маслах

Основу крема на растительных маслах составляет БЭПС М/В/М, содержащая в качестве непрерывной внешней масляной фазы купаж масел (вариант 5), оптимизированный по соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, и внутреннюю масляную фазу, состоящую из масла МСТ, обогащенного витамином D, диспергированную в водной фазе.

Технология приготовления крема на растительных маслах включает следующие стадии:

- приготовление водной фазы, содержащей вкусо-ароматические ингредиенты и комплексный эмульгатор;
- комбинирование внутренней масляной фазы с водной фазой и ультразвуковое диспергирование для получения стабилизированной первичной эмульсии типа М/В – БЭФ;
- эмульгирование первичной эмульсии М/В – БЭФ во внешней масляной фазе, содержащей эмульгатор – глицериды жирных кислот (рисунок 67).

При отработке рецептуры крема на растительных маслах применяли различные соотношения ингредиентов с учетом отработанного пропорционального состава БЭПС М/В/М, представленного в таблице 11 (см. главу 4). Из общей выборки опытных образцов были отобраны три оптимальных, рецептуры которых представлены в таблице 44.

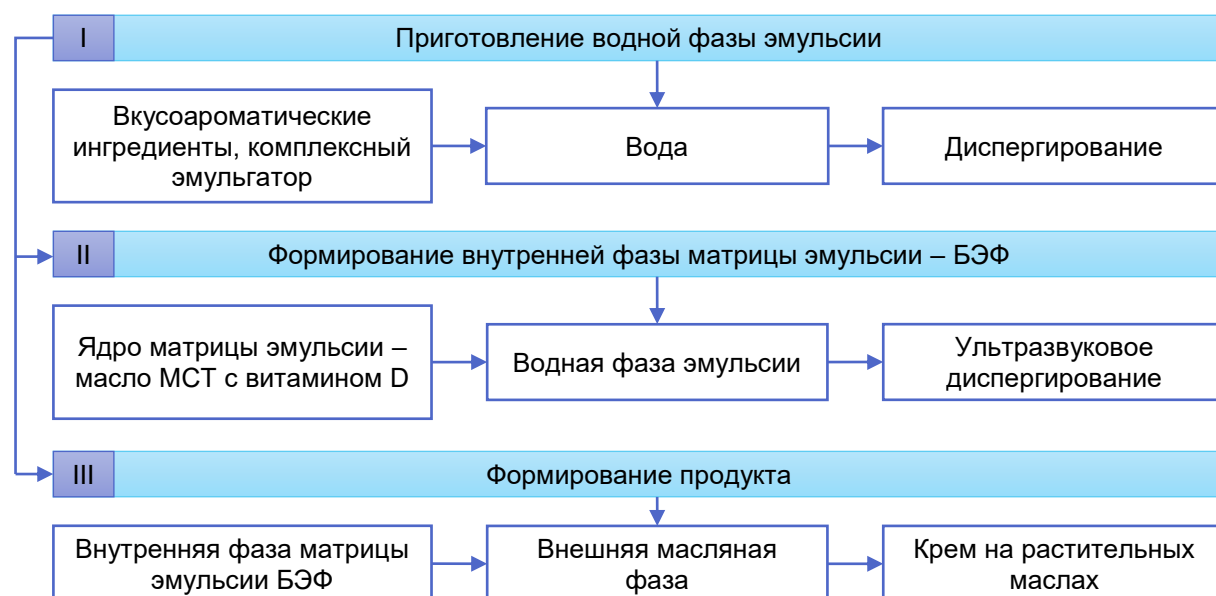


Рисунок 67 – Технология приготовления крема на растительных маслах

Таблица 44 – Рецепттура крема на растительных маслах

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (м/в)	Внешняя фаза
Образец 1		
Купаж масел 5	–	58,95
Вода	18,9	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	6,0
Сахар	5,0	–
Ароматизаторы идентичные натуральным (сливки, ванилин)	0,1	–
МСТ	10	–
Витамин D	0,05	–
<i>Итого</i>	35,05	64,95
Образец 2		
Купаж масел 5	–	59,5
Вода	15,8	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	5,0
Сахар	6,0	–
Ароматизаторы идентичные натуральным (сливки, ванилин)	0,1	–

Продолжение таблицы 44

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (м/в)	Внешняя фаза
МСТ	12,5	–
Витамин D	0,1	–
<i>Итого</i>	35,5	64,5
Образец 3		
Купаж масел 5	–	55,0
Вода	16,9	–
Комплексный эмульгатор	1,0	–
Смесь глицеридов жирных кислот	–	5,0
Сахар	7,0	–
Ароматизаторы идентичные натуральным (сливки, ванилин)	0,1	–
МСТ	14,85	
Витамин D	0,15	–
<i>Итого</i>	40,0	60,0

Морфология и внешний вид крема на растительных маслах соответствуют морфологии и внешнему виду БЭПС М/В/М и эмульсионного соуса, обогащенного омега-3 жирными кислотами (рисунок 68).

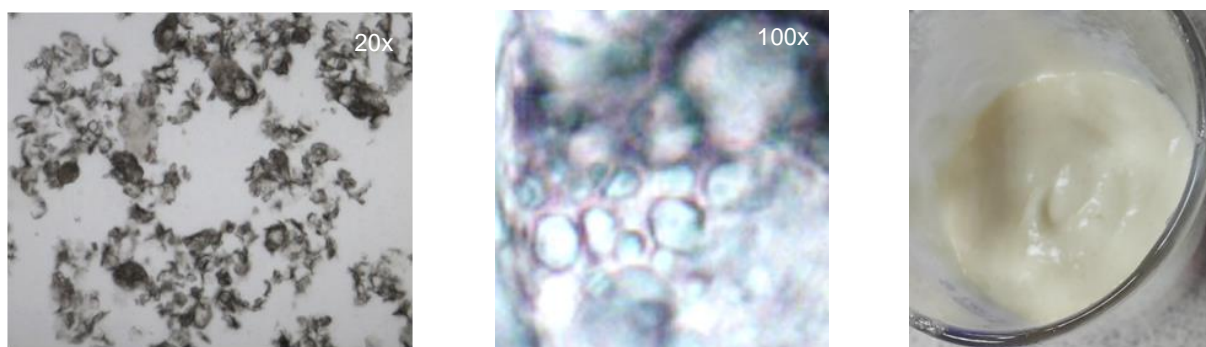


Рисунок 68 – Морфология (оптическая микроскопия) и внешний вид крема на растительных маслах на основе БЭПС М/В/М

7.3.2 Оценка качества крема на растительных маслах

По результатам сенсорного анализа опытных образцов крема на растительных маслах составлены органолептические профили, представленные на рисунке 69.

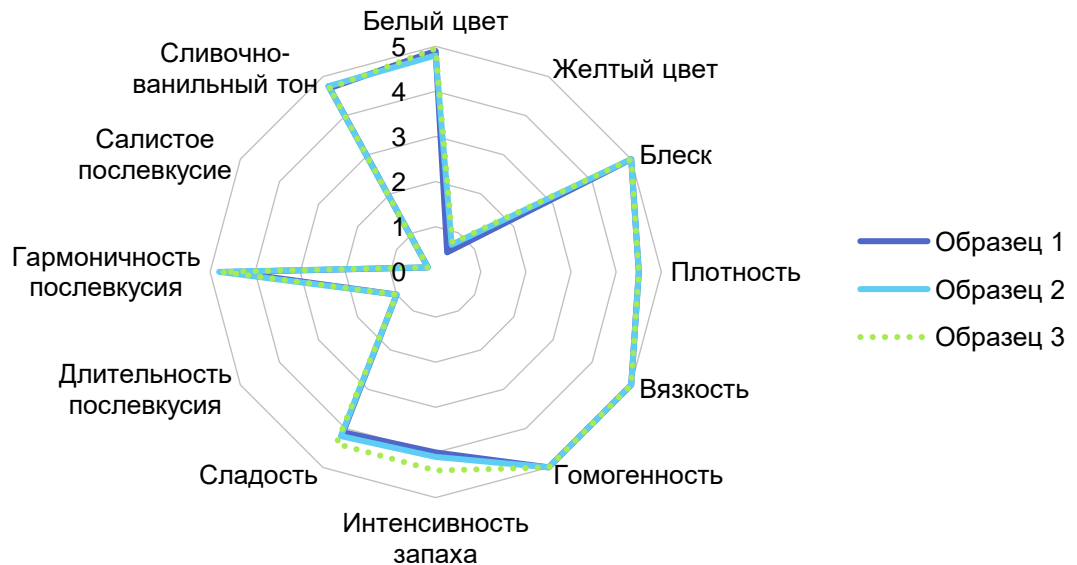


Рисунок 69 – Органолептические профили опытных образцов крема на растительных маслах

Опытные образцы крема на растительных маслах характеризовались густой вязкой однородной консистенцией, имели плотную структуру и характерный блеск, белый цвет с легким кремовым оттенком. Вкус крема в меру сладкий, послевкусие гармоничное и непродолжительное, запах сливочно-ванильный, свойственный вносимым ароматизаторам, достаточно интенсивный. Характеристики образцов были практически идентичны.

Далее определяли степень сохраняемости витамина D в процессе хранения кремов на растительной основе (рисунок 70, таблица 45).

Изменчивость вариационного ряда значений содержания витамина D в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержания витамина D исследуемых образцов крема на растительных маслах: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$).

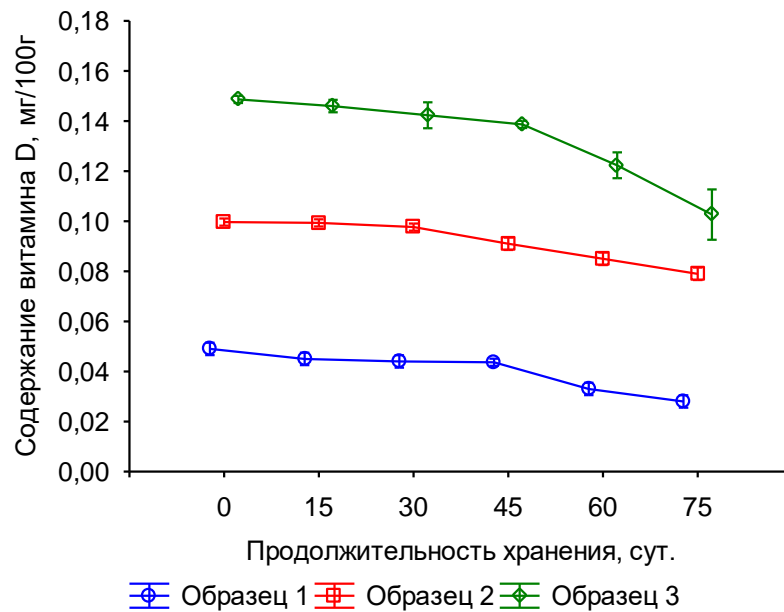


Рисунок 70 – Динамика содержания витамина D в процессе хранения крема на растительных маслах

Таблица 45 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание витамина D, мг/100 г					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	0,049 ± 0,001 ^{b-f}	2,04	0,099 ± 0,001 ^{def}	0,58	0,149 ± 0,001 ^{c-f}	0,001
15	0,045 ± 0,001 ^{def}	2,22	0,099 ± 0,001 ^{def}	0,58	0,146 ± 0,001 ^{def}	0,001
30	0,044 ± 0,001 ^{def}	2,27	0,097 ± 0,001 ^{def}	0,59	0,142 ± 0,002 ^{def}	0,002
45	0,044 ± 0,001 ^{def}	1,32	0,091 ± 0,001 ^{abcef}	1,10	0,139 ± 0,001 ^{abef}	0,001
60	0,033 ± 0,001 ^{a-df}	3,03	0,085 ± 0,001 ^{a-df}	1,18	0,122 ± 0,002 ^{a-df}	0,002
75	0,028 ± 0,001 ^{a-e}	3,57	0,079 ± 0,001 ^{a-e}	1,27	0,103 ± 0,004 ^{a-e}	0,004
Сила влияния, %	99,55 ($p < 0,01$)		99,70 ($p < 0,01$)		99,53 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-f$ по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Результаты исследования показали, что в процессе хранения до 45 сут наблюдается незначительное снижение количества витамина D на 6–10 %. При дальнейшем хранении темп снижения количества витамина увеличивается и на 60-е сутки по сравнению с начальным значением оно составило 35 %; 15 % и 19 % для каждого образца соответственно. На момент окончания хранения снижение количества данного витамина в опытных образцах крема произошло на 42,9 % – у образца 1, 21 % – у образца 2 и 28 % – у образца 3.

7.3.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности крема на растительных маслах

На основании проведенных исследований для крема на растительных маслах установлены регламентируемые показатели качества (таблица 46).

Таблица 46 – Регламентируемые органолептические показатели крема на растительных маслах

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид, консистенция	Однородный продукт с консистенцией типа густой сметаны с единичными пузырьками воздуха
Вкус и запах	Гармоничные, сладкий вкус, со сливочно-ванильным ароматом, без следов горечи, свойственные продукту, без посторонних привкуса и запаха
Цвет	От белого до кремового
Массовая доля влаги, %	Не более 25
Массовая доля жира, %	Не менее 60
Стойкость эмульсии, % выделившегося жира	Не менее 97
Содержание витамина D, мас. %	Не менее 0,03

Для установления сроков годности проведены исследования значимых показателей качества крема на растительных маслах в процессе хранения.

Опытные образцы, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и закупоренные пластиковой крышкой, закладывали на хранение в течение 4 мес. при температуре (4 ± 2) °С.

Оценку органолептических показателей качества опытных образцов крема на растительных маслах проводили по пятибалльной шкале с применением профильного метода (коэффициент согласованности – 0,7 доверительной вероятности – 0,95). Профилограммы органолептических показателей качества представлены на рисунке 71.

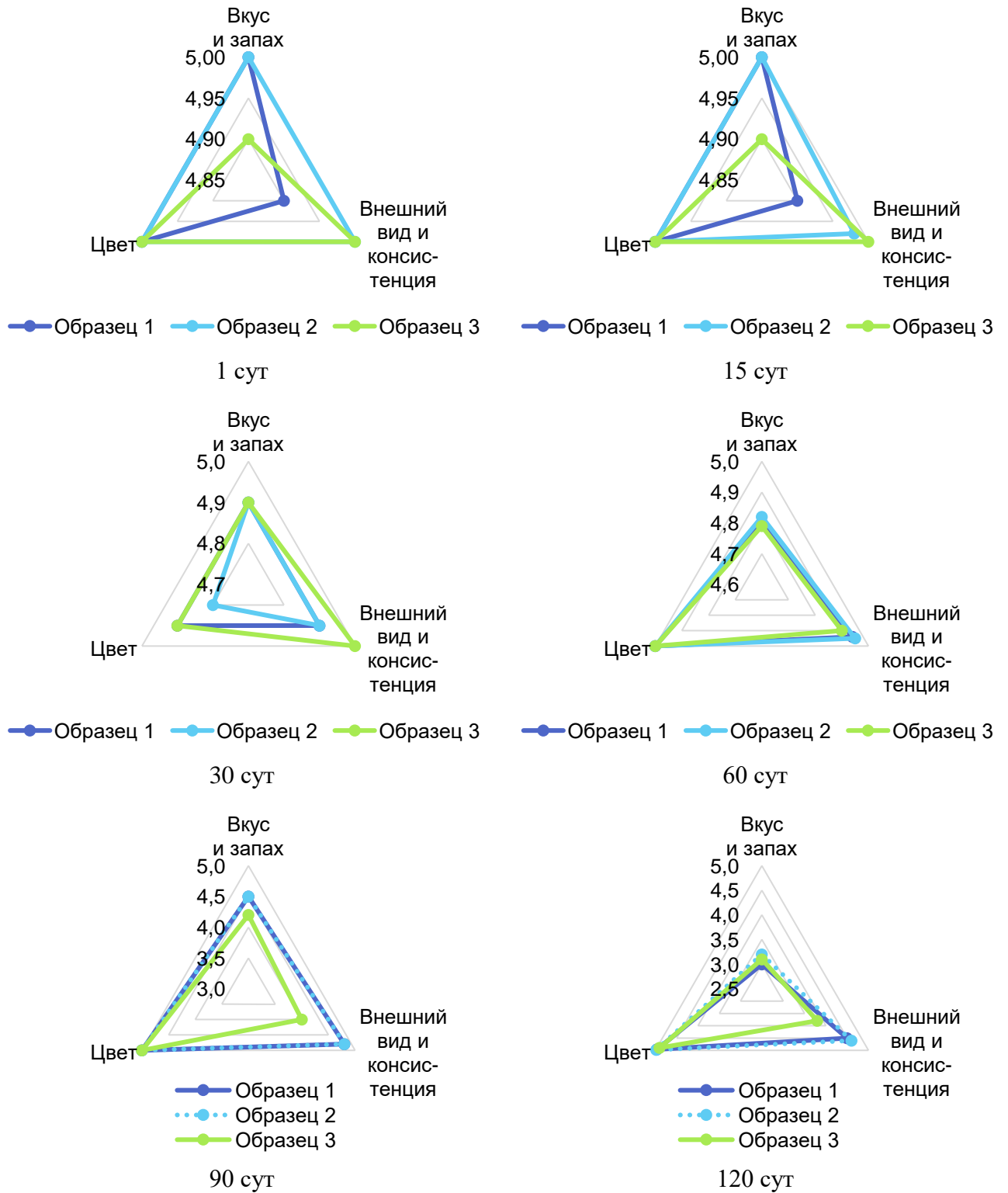


Рисунок 71 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов крема на растительных маслах в процессе хранения

В результате исследования было выявлено, что все опытные образцы имеют высокие значения органолептических показателей на протяжении 90 сут: однородную густую консистенцию, приятные вкус и запах, свойственные входящим в ре-

цептуру компонентам, цвет, свойственный продукту. На 120-е сутки хранения произошло существенное снижение значений по показателю вкус и запах, однако существенных отклонений не выявлено.

С целью установления сроков годности разработанного эмульсионного продукта определяли динамику окисления жира в процессе хранения (рисунок 72, таблица 47).

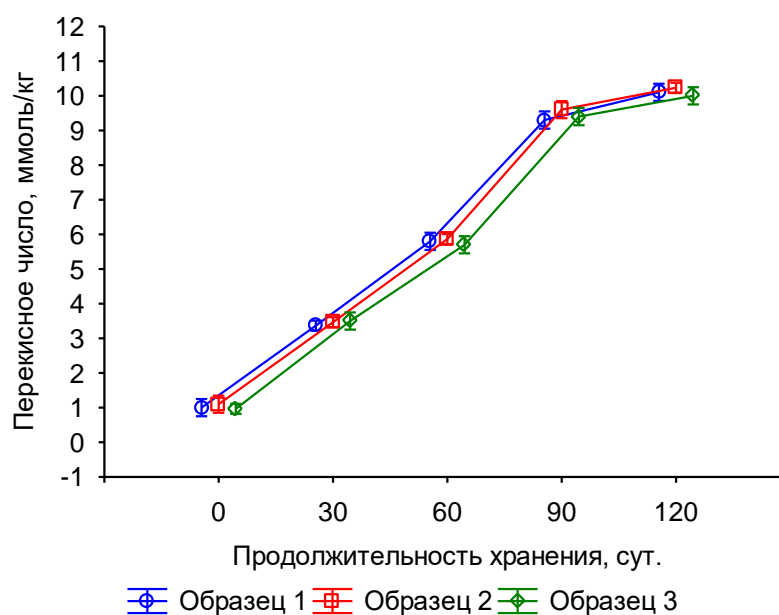


Рисунок 72 – Динамика значений перекисного числа опытных образцов крема на растительных маслах в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 47 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Перекисное число, ммоль/кг					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	$1,00 \pm 0,10^{b-e}$	10,00	$1,10 \pm 0,10^{b-e}$	9,09	$0,97 \pm 0,06^{b-e}$	5,97
30	$3,37 \pm 0,06^{acde}$	1,71	$3,47 \pm 0,06^{acde}$	1,67	$3,50 \pm 0,10^{acde}$	2,86
60	$5,80 \pm 0,10^{abde}$	1,72	$5,87 \pm 0,06^{abde}$	0,98	$5,70 \pm 0,10^{abde}$	1,75
90	$9,30 \pm 0,10^{abce}$	1,08	$9,60 \pm 0,10^{abce}$	1,04	$9,40 \pm 0,10^{abce}$	1,06
120	$10,10 \pm 0,10^{a-d}$	0,99	$10,23 \pm 0,06^{a-d}$	0,56	$10,00 \pm 0,10^{a-d}$	1,00
Сила влияния, %	99,98 ($p < 0,01$)		100 ($p < 0,01$)		99,98 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (a–e по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).						

Изменчивость вариационного ряда значений перекисного числа в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на перекисное число исследуемых образцов био-соуса: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$).

Значения перекисного числа стабильно увеличиваются с одинаковым темпом с даты производства у всех опытных образцов крема в течение всего периода хранения. На 120-е сутки хранения у всех опытных образцов отмечалось несоответствие установленным требованиям по данному показателю.

Стойкость эмульсии свежеприготовленных соусов находилась в диапазоне 99,7–99,9 % (рисунок 73, таблица 48).

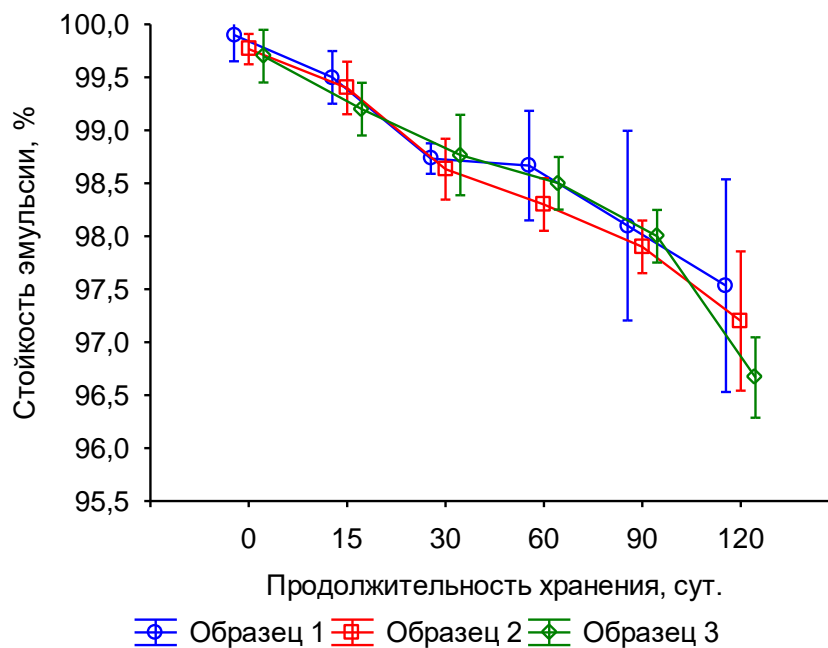


Рисунок 73 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов крема на растительных маслах в зависимости от продолжительности хранения

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений стойкости эмульсии исследуемых образцов крема на растительных маслах незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на стойкость эмульсии, сила влияния 97,43 % для образца 1 и более 99 % для образцов 3 и 3, $p < 0,01$.

Таблица 48 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Стойкость эмульсии, %					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	99,90 ± 0,10 ^{c-f}	0,10	99,77 ± 0,06 ^{c-f}	0,06	99,70 ± 0,10 ^{b-f}	0,10
15	99,50 ± 0,10 ^{c-f}	0,10	99,40 ± 0,10 ^{c-f}	0,10	99,20 ± 0,10 ^{ac-f}	0,10
30	98,73 ± 0,06 ^{abf}	0,06	98,63 ± 0,12 ^{abef}	0,12	98,77 ± 0,15 ^{abef}	0,15
60	98,67 ± 0,21 ^{abf}	0,21	98,30 ± 0,10 ^{abef}	0,10	98,50 ± 0,10 ^{abef}	0,10
90	98,10 ± 0,36 ^{ab}	0,37	97,90 ± 0,10 ^{a-df}	0,10	98,00 ± 0,10 ^{a-df}	0,10
120	97,53 ± 0,40 ^{a-d}	0,41	97,20 ± 0,26 ^{a-e}	0,27	96,67 ± 0,15 ^{a-e}	0,16
Сила влияния, %	97,43 (<i>p</i> < 0,01)		99,29 (<i>p</i> < 0,01)		99,57 (<i>p</i> < 0,01)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (<i>a-f</i> по продолжительности хранения) существенны (<i>p</i> < 0,01).						

На протяжении последующих 90 сут наблюдалось некоторое снижение доли неразрушенной эмульсии на 2,0–2,3 %. Однако значения находились в рамках установленных норм. На 120-е сутки хранения произошло снижение значений еще на 1,2–1,7 %, что привело к несоответствию значений исследуемого показателя установленным требованиям.

В таблице 49 представлены результаты исследований микробиологических показателей качества опытных образцов крема на растительных маслах в процессе хранения.

Таблица 49 – Результаты исследования динамики микробиологических показателей крема на растительных маслах в процессе хранения

Показатель	Образец	ДУ	Продолжительность хранения, сут				
			15	30	60	90	120
КМАФАНМ	1	Не более $1 \cdot 10^4$	н/р	н/р	н/р	$2,50 \cdot 10^3$	$1,05 \cdot 10^4$
	2		н/р	н/р	$1,36 \cdot 10^2$	$1,68 \cdot 10^3$	$1,22 \cdot 10^4$
	3		н/р	н/р	$1,64 \cdot 10^2$	$1,49 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^4$
БГКП	1	Не допускаются в 0,01 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				
Дрожжи, КОЕ/г	1	Не более 50	0	5	10	15	20
	2		5	5	10	20	45
	3		5	10	20	25	55

Продолжение таблицы 49

Показатель	Образец	ДУ	Продолжительность хранения, сут				
			15	30	60	90	120
Плесневые грибы, КОЕ/г	1	Не более 50	–	–	1	2	5
	2		–	–	–	1	5
	3		–	–	1	2	5
Патогенные, в том числе сальмонеллы	1	Не допускаются в 25 г	Не обнаружено				
	2		Не обнаружено				
	3		Не обнаружено				

На протяжении 90 сут хранения при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ микробиологические показатели опытных образцов кремов оставались в пределах допустимых уровней. На 120-е сутки у опытного образца 3 было выявлено превышение допустимых уровней по количеству дрожжей.

Исследования органолептических, микробиологических показателей, и физико-химических показателей (перекисное число и стойкость эмульсии), позволили установить срок годности разработанных кремов на растительных маслах – 75 сут с учетом коэффициента запаса 1,2.

7.4 Разработка и оценка качества сывороточного коктейля

7.4.1 Разработка рецептуры и технологии сывороточного коктейля

Основу коктейля составляет БЭПС В/М/В, содержащая в качестве масляной фазы купаж масел (вариант 4), оптимизированный по соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, и внутреннюю водную фазу, содержащую аскорбиновую кислоту в количестве 0,5–1,5 мас.%. В качестве непрерывной внешней водной фазы

использовали молочную сыворотку. В качестве масляной фазы использовали купаж масел. Аскорбиновая кислота имеет максимальную растворимость 32 % в воде при 25 °С.

Технология приготовления коктейля включает следующие стадии:

- приготовление внутренней водной фазы, содержащей аскорбиновую кислоту – БВДФ;
- комбинирование БВДФ с масляной фазой и ультразвуковое диспергирование для получения стабилизированной внутренней фазы типа В/М – БЭФ;
- эмульгирование БЭФ с молочной сывороткой, содержащей комплексный эмульгатор и вкусоароматические ингредиенты с образованием БЭПС (рисунок 74).

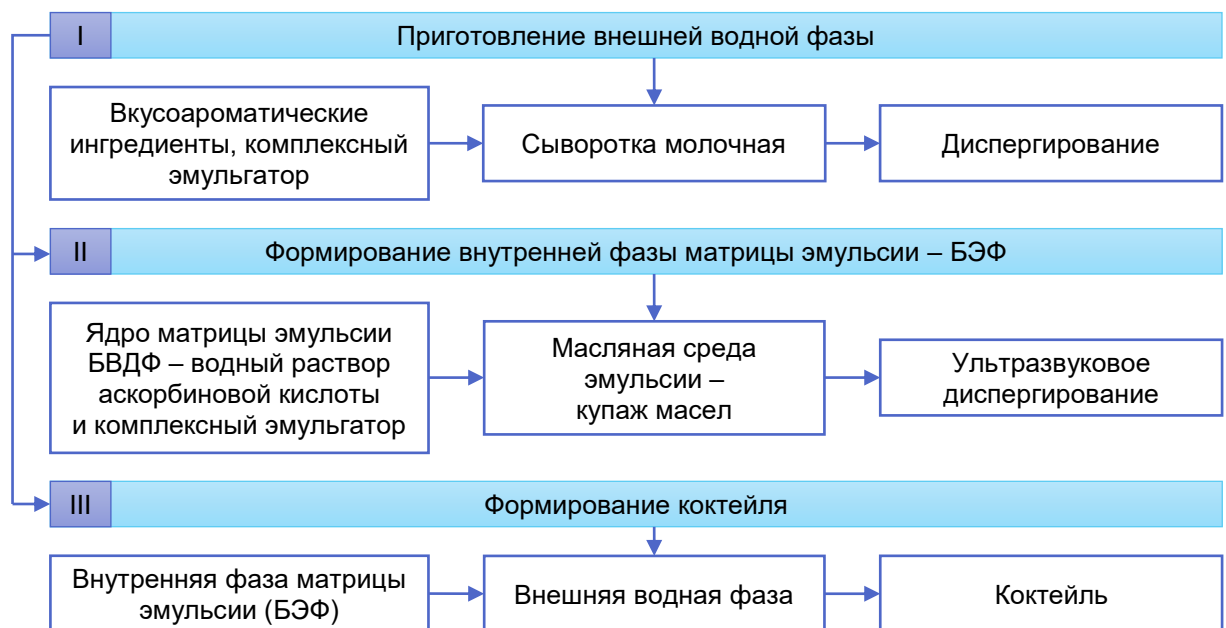


Рисунок 74 – Технология приготовления сывороточного коктейля

При отработке рецептуры сывороточного коктейля применяли различные соотношения ингредиентов с учетом отработанного пропорционального состава БЭПС В/М/В, представленного в таблице 11 (см. главу 4). В процессе отработки рецептуры были получены три опытных образца, оптимальных по составу и различающихся массовой долей аскорбиновой кислоты (образец 1 – 0,05 мас.%, образец 2 – 0,1 мас.% и образец 3 – 0,15 мас.%).

В таблице 50 представлены рецептуры опытных образцов сывороточного коктейля с включением в состав различного количества аскорбиновой кислоты.

Таблица 50 – Рецептуры опытных образцов сывороточного коктейля

Образец 1		
Купаж масел 4	30	
Вода	15	–
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Сыворотка творожная	–	47,85
Сахар	–	5,0
Ароматизаторы идентичные натуральным (вариативно манго/маракуйя/персик/клубника)	–	0,1
Аскорбиновая кислота	0,05	–
<i>Итого</i>	46,05	53,95
Образец 2		
Купаж масел 4	30	
Вода	15	–
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Сыворотка творожная	–	47,8
Сахар	–	5,0
Ароматизаторы идентичные натуральным (вариативно манго/маракуйя/персик/клубника)	–	0,1
Аскорбиновая кислота	0,1	–
<i>Итого</i>	46,1	53,9
Образец 3		
Купаж масел 4	30	
Вода	15	–
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Сыворотка творожная	–	47,75
Сахар	–	5,0
Ароматизаторы идентичные натуральным (вариативно манго/маракуйя/персик/клубника)	–	0,1
Аскорбиновая кислота	0,15	–
<i>Итого</i>	46,15	53,85

Морфология и внешний вид сывороточного коктейля соответствуют морфологии и внешнему виду БЭПС В/М/В (рисунок 75).

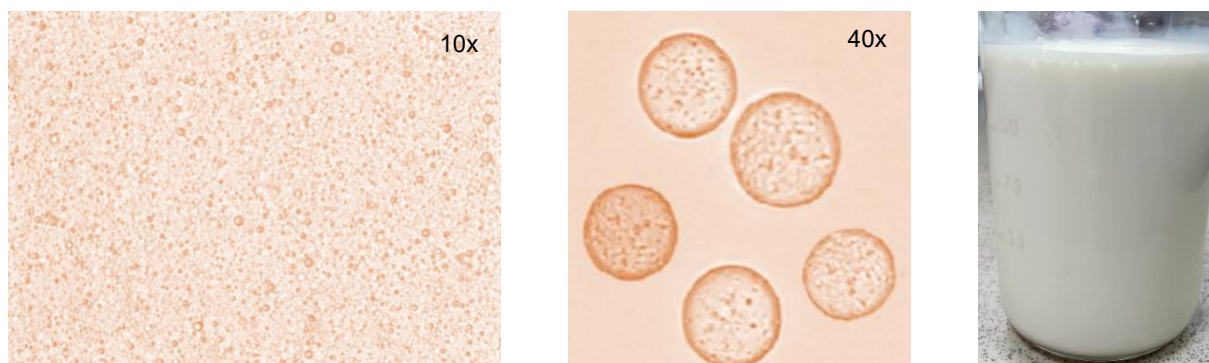


Рисунок 75 – Морфология (оптическая микроскопия) и внешний вид сывороточного коктейля (БЭПС В/М/В)

7.4.2 Оценка качества сывороточного коктейля

Проведена балльная оценка качества опытных образцов сывороточного коктейля по органолептическим показателям качества (таблица 51).

Таблица 51 – Результаты балльной оценки качества опытных образцов сывороточного коктейля

Показатель качества	Коэффициент весомости $K_{\text{вес}}$	Оценка опытного образца коктейля, балл		
		1	2	3
Внешний вид	0,15	$4,99 \pm 0,19$	$4,98 \pm 0,13$	$4,95 \pm 0,16$
Консистенция	0,25	$4,98 \pm 0,21$	$4,97 \pm 0,15$	$4,96 \pm 0,20$
Аромат	0,30	$4,58 \pm 0,11$	$4,49 \pm 0,21$	$4,44 \pm 0,15$
Вкус	0,30	$4,69 \pm 0,13$	$3,92 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,21$
<i>Итого</i>	1,00	$4,81 \pm 0,16$	$4,59 \pm 0,16$	$4,27 \pm 0,18$

Наивысшую оценку в ходе исследования получил опытный образец 1, характеризующийся более сбалансированными характеристиками по вкусу и аромату. В частности, данный образец имел оптимальный баланс по соотношению вкусовых характеристик «сладость – кислотность» в сравнении с образцами 2 и 3, в рецептуре которых сочетание большего количества аскорбиновой кислоты приводило к увеличению кислотности вкуса и снижению его гармоничности.

Вкусоароматические профили опытных образцов, полученные с помощью дескрипторно-профильного метода органолептического анализа представлены на рисунке 76.

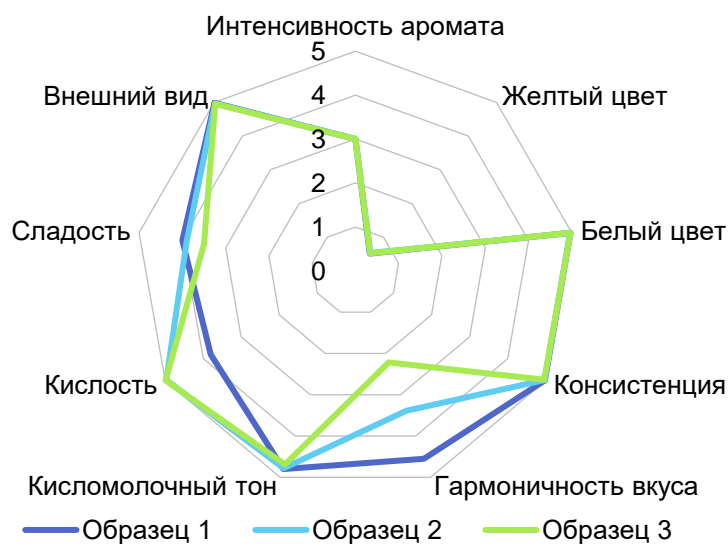


Рисунок 76 – Вкусоароматические профили опытных образцов сывороточного коктейля

Далее определяли степень сохраняемости аскорбиновой кислоты в процессе хранения сывороточных коктейлей (рисунок 77, таблица 52).

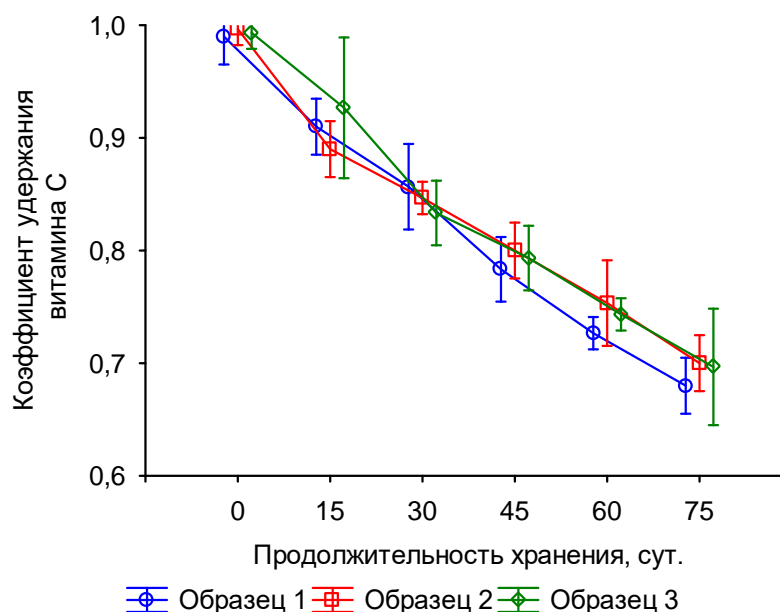


Рисунок 77 – Динамика коэффициента удержания аскорбиновой кислоты в процессе хранения опытных образцов сывороточного коктейля

Таблица 52 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Коэффициент удержания витамина С					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	0,99 ± 0,01 ^{b-f}	1,01	1,00 ± 0,01 ^{b-f}	0,58	0,99 ± 0,01 ^{b-f}	0,58
15	0,91 ± 0,01 ^{ac-f}	1,10	0,89 ± 0,01 ^{ac-f}	1,12	0,93 ± 0,03 ^{ac-f}	2,72
30	0,86 ± 0,02 ^{abd-f}	1,78	0,85 ± 0,01 ^{abd-f}	0,68	0,83 ± 0,01 ^{abef}	1,39
45	0,78 ± 0,01 ^{abcef}	1,47	0,80 ± 0,01 ^{abcef}	1,25	0,79 ± 0,01 ^{abef}	1,46
60	0,73 ± 0,01 ^{a-df}	0,79	0,75 ± 0,02 ^{a-df}	2,03	0,74 ± 0,01 ^{a-df}	0,78
75	0,68 ± 0,01 ^{a-e}	1,47	0,70 ± 0,01 ^{a-e}	1,43	0,70 ± 0,02 ^{a-e}	2,99
Сила влияния, %	99,71 ($p < 0,01$)		99,70 ($p < 0,01$)		99,38 ($p < 0,01$)	
Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-f$ по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).						

Изменчивость вариационного ряда коэффициента удержания витамина С в процессе хранения незначительна у всех исследуемых образцов. Продолжительность хранения оказывает значимое влияние на коэффициент удержания витамина С в исследуемых образцах сывороточного коктейля: сила влияния более 99 % ($p < 0,01$).

Коэффициент удержания аскорбиновой кислоты в сывороточных коктейлях, приготовленных на основе БЭПС В/М/В находится в пределах 1–0,83 в течение 30 сут. Далее происходит его снижение и на конец срока хранения он составляет 0,68–0,7.

Данные результаты были получены за счет использования ультразвуковой кавитации, способствующей сужению диапазона распределения капель воды в масле по величине.

Аскорбиновая кислота легко окисляется под воздействием парциального давления кислорода, рН, температуры, света и ионов тяжелых металлов. Именно поэтому инкапсулирование витамина С в БЭПС способствует его сохранности и перспективно для использования при фортификации пищевых продуктов.

7.4.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности сывороточного коктейля

На основании проведенных исследований для сывороточного коктейля установлены регламентируемые показатели качества (таблица 53).

Таблица 53 – Регламентируемые органолептические показатели сывороточного коктейля

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Однородный непрозрачный продукт
Консистенция	Жидкая
Аромат	Гармоничный, свойственный вносимым ингредиентам
Вкус	Гармоничный, насыщенный, сладко-кислый, с долгим приятным кисломолочным послевкусием, с привкусом вносимых ингредиентов
Цвет	От белого до кремового
Массовая доля сухих веществ, %	Не менее 35
Массовая доля жира, %	Не менее 30
Кислотность, град	Не более 2,4
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 см ³	Не менее 0,05

Для установления сроков годности проведены исследования значимых показателей качества сывороточного коктейля в процессе хранения.

Опытные образцы, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и закупоренные пластиковой крышкой, были заложены на хранение в течение 1 мес. при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Оценка органолептических показателей качества опытных образцов сывороточного коктейля проводилась по пятибалльной шкале с применением профильного метода (коэффициент согласованности – 0,7 доверительной вероятности – 0,95). Профилограммы органолептических показателей качества представлены на рисунке 78.

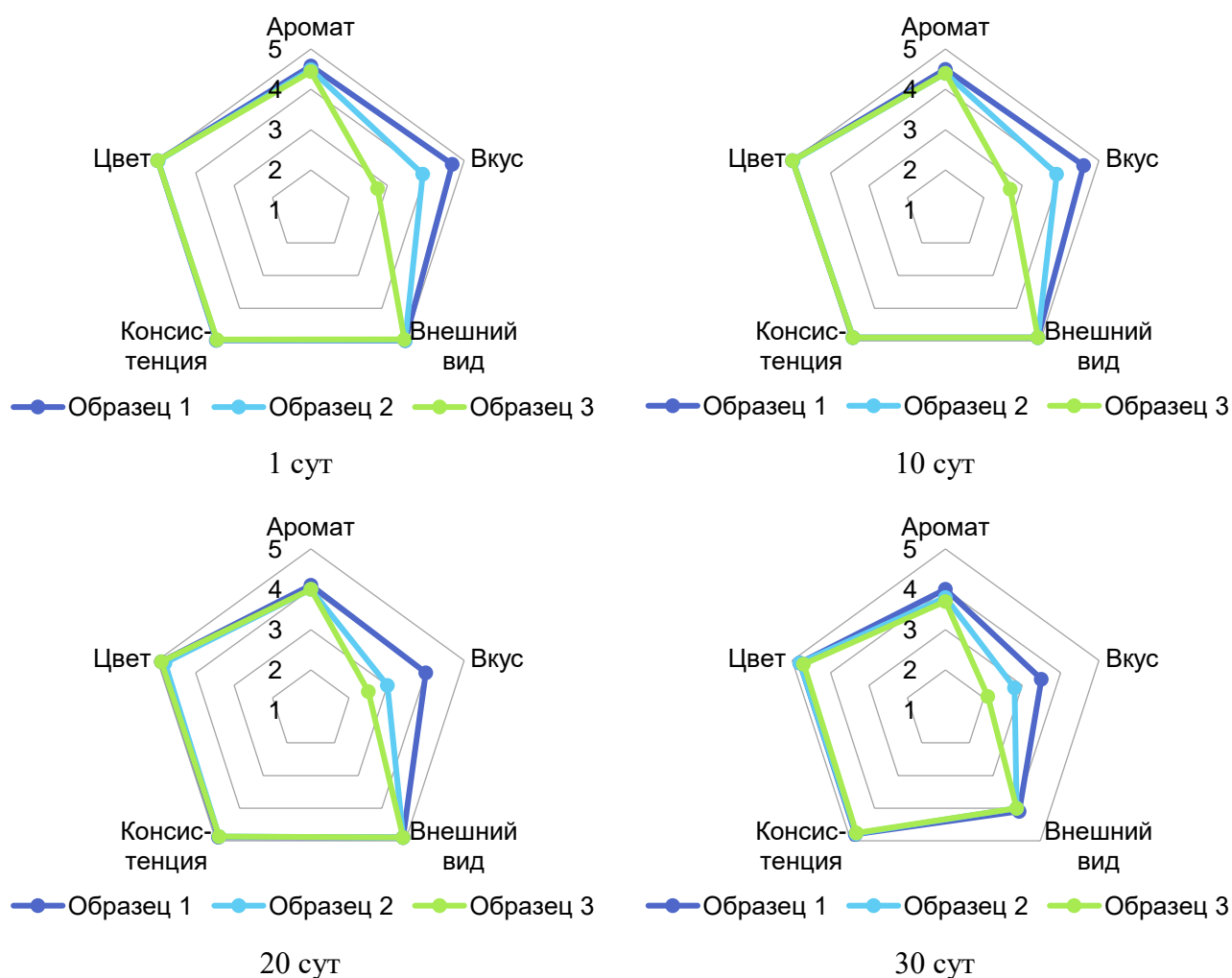


Рисунок 78 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов сывороточного коктейля в процессе хранения

На протяжении 20 сут хранения значения органолептических показателей качества оставались практически неизменными. По истечении данного периода наблюдались изменения во внешнем виде и вкусе продукта.

С целью установления сроков годности разработанного сывороточного коктейля определяли динамику кислотности в процессе хранения. Результаты представлены на рисунке 79 и в таблице 54.

Из представленного графика видно, что значения показателя кислотность стабильно увеличивается с одинаковым темпом с даты производства у всех опытных образцов коктейля на протяжении всего периода хранения в среднем на 0,03–0,06 град, но при этом в течение 30 сут остается в рамках допустимых уровней.

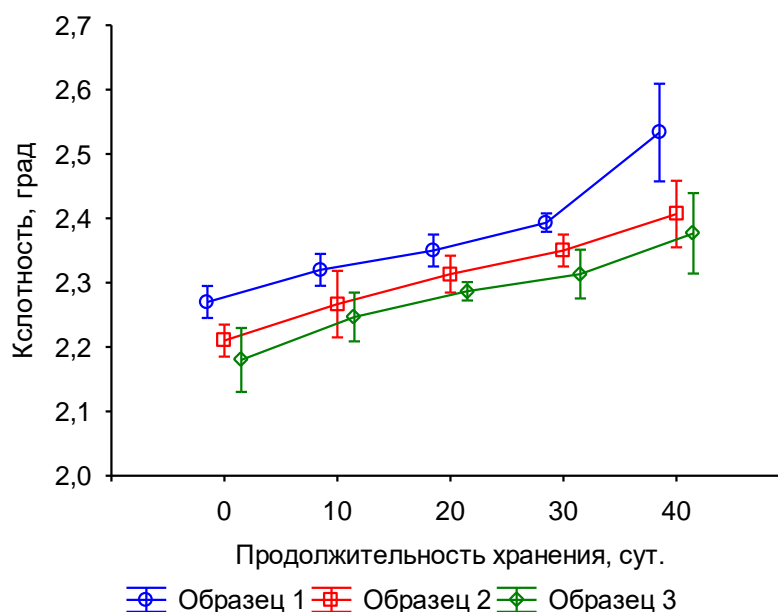


Рисунок 79 – Динамика кислотности опытных образцов сывороточного коктейля в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 54 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Кислотность, град					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	2,27 ± 0,01 ^{b-e}	0,44	2,21 ± 0,01 ^{b-e}	0,45	2,18 ± 0,02 ^{b-e}	0,92
10	2,32 ± 0,01 ^{ade}	0,43	2,27 ± 0,02 ^{acde}	0,92	2,25 ± 0,02 ^{ade}	0,68
20	2,35 ± 0,01 ^{ade}	0,43	2,31 ± 0,01 ^{abe}	0,50	2,29 ± 0,01 ^{ae}	0,25
30	2,39 ± 0,01 ^{abce}	0,24	2,35 ± 0,01 ^{abe}	0,43	2,31 ± 0,02 ^{abe}	0,66
40	2,53 ± 0,03 ^{a-d}	1,21	2,41 ± 0,02 ^{a-d}	0,86	2,38 ± 0,03 ^{a-d}	1,06
Сила влияния, %	99,16 ($p < 0,01$)		98,62 ($p < 0,01$)		98,14 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a-e* по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений кислотности исследуемых образцов сывороточного коктейля незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на кислотность, сила влияния более 99% для образца 1 и более 98% для образцов 1 и 2, $p < 0,01$.

Сывороточные коктейли были стабильными в течение 30 сут (рисунок 80, таблица 55). Степень рассеивания стойкости эмульсии исследуемых образцов сывороточного коктейля незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние, сила влияния более 99 %, $p < 0,01$.

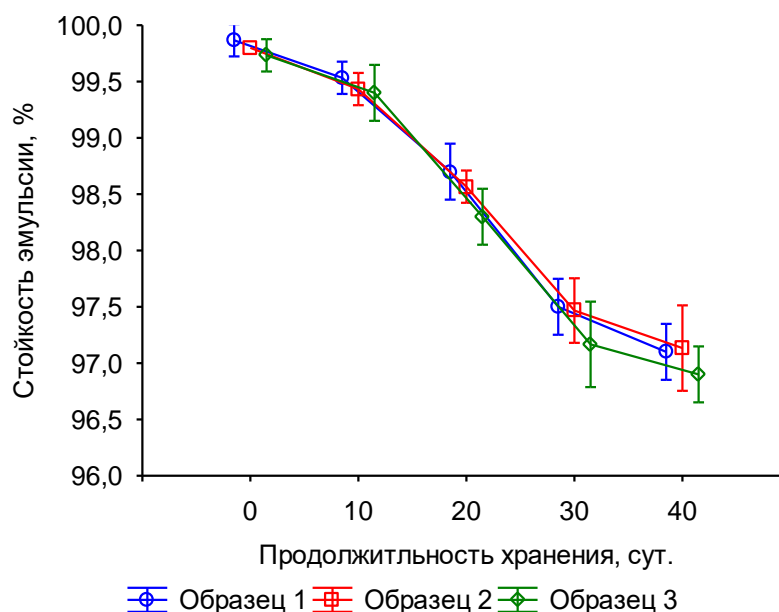


Рисунок 80 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов сывороточных коктейлей в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 55 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Стойкость эмульсии, %					
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %
0	99,87 ± 0,06 ^{b-e}	0,06	99,80 ± 0,01 ^{b-e}	0,01	99,73 ± 0,06 ^{b-e}	0,06
10	99,53 ± 0,06 ^{acde}	0,06	99,43 ± 0,06 ^{acde}	0,06	99,40 ± 0,10 ^{acde}	0,10
20	98,70 ± 0,10 ^{abde}	0,10	98,57 ± 0,06 ^{abde}	0,06	98,30 ± 0,10 ^{abde}	0,10
30	97,50 ± 0,10 ^{abce}	0,10	97,47 ± 0,12 ^{abce}	0,12	97,17 ± 0,15 ^{abc}	0,16
40	97,10 ± 0,10 ^{a-d}	0,10	97,13 ± 0,15 ^{a-d}	0,15	96,90 ± 0,10 ^{abc}	0,10
Сила влияния, %	99,84 ($p < 0,01$)		99,79 ($p < 0,01$)		99,77 ($p < 0,01$)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами ($a-e$ по продолжительности хранения) существенны ($p < 0,01$).

Меньшей стабильностью эмульсии характеризовался опытный образец 3, содержащий наибольшее количество аскорбиновой кислоты. Очевидно, кислотная природа аскорбиновой кислоты, может оказывать влияние на физическую стабильность эмульсий, так как ее молекулы могут влиять на межфазный слой, стабилизирующий внутренние водные капли, способствуя с течением времени незначительному его набуханию. Набухание способствует увеличению плотности межфазного слоя, что может повысить степень высвобождения аскорбиновой кислоты, инкапсулированной в множественных эмульсиях.

В таблице 56 приведены результаты исследования микробиологических показателей качества опытных образцов сывороточного коктейля в процессе хранения.

Таблица 56 – Результаты исследования динамики микробиологических показателей сывороточного коктейля в процессе хранения

Показатель	Образец	Допустимый уровень	Продолжительность хранения, сут		
			10	20	30
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³)	1	Не более $1 \cdot 10^5$	н/р	36	$1,05 \cdot 10^2$
	2		н/р	55	$1,18 \cdot 10^2$
	3		н/р	$1,36 \cdot 10^2$	$1,64 \cdot 10^5$
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	1	Не допускаются в 25 г	Не обнаружены		
	2				
	3				
Стафилококки <i>S. aureus</i>	1	Не допускаются в 1,0 г	Не обнаружены		
	2				
	3				
БГКП (колиформы)	1	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены		
	2				
	3				
Дрожжи, плесени, КОЕ/см ³ (г)	1	Не более 10	н/р		3
	2		н/р		5
	3		н/р	4	10

На протяжении 20 сут хранения при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ микробиологические показатели опытных образцов коктейля оставались в пределах допустимых уровней. На 30-е сутки у опытного образца 3 было выявлено превышение допустимых уровней по КМАФАнМ, количеству дрожжей и плесеней.

Исследования органолептических, микробиологических показателей, и физико-химических показателей (кислотность и стойкость эмульсии), позволили установить срок годности разработанных сывороточных коктейлей – 20 сут с учетом коэффициента запаса 1,3.

Разработаны рецептуры и технология сывороточного коктейля на основе БЭПС В/М/В. Разработанные коктейли имели стойкость в течение 20 сут, высокие

органолептические характеристики, а также характеризовались высокими коэффициентами удержания аскорбиновой кислоты во время хранения.

7.5 Разработка и оценка качества напитков на растительной основе

7.5.1 Разработка рецептуры и технологии напитков на растительной основе

Целью данного этапа исследований являлось моделирование напитков на растительной основе – продуктов, альтернативных коровьему молоку, обладающих повышенной пищевой ценностью на основе БЭПС (В/М/В), масляная фаза которых состоит из купажа масел (вариант 4), оптимизированный по соотношению омега-3 и омега-6 жирных кислот, с комплексом витаминов А и D₃, а внутренняя водная фаза содержит витамин группы В. Непрерывной внешней водной фазой служили купажи соевого, кокосового и миндального молока в различных комбинациях.

Технология приготовления напитков на растительной основе включает следующие стадии (рисунок 81):

- приготовление внутренней водной фазы, содержащей витамин группы В, – БВФ;
- комбинирование внутренней водной фазы – БВФ с масляной фазой и ультразвуковое диспергирование для получения стабилизированной внутренней фазы типа В/М – БЭФ;
- эмульгирование БЭФ с купажом соевого, кокосового и миндального молока (вариативно), содержащим комплексный эмульгатор, с образованием БЭПС.

Без сомнения, соевое молоко по пищевой ценности представляет собой лучшую альтернативу коровьему молоку в рационе человека. Однако такие его характеристики, как привкус соевых бобов и наличие в составе антипитательных факторов, являются основными препятствиями для поиска альтернатив.

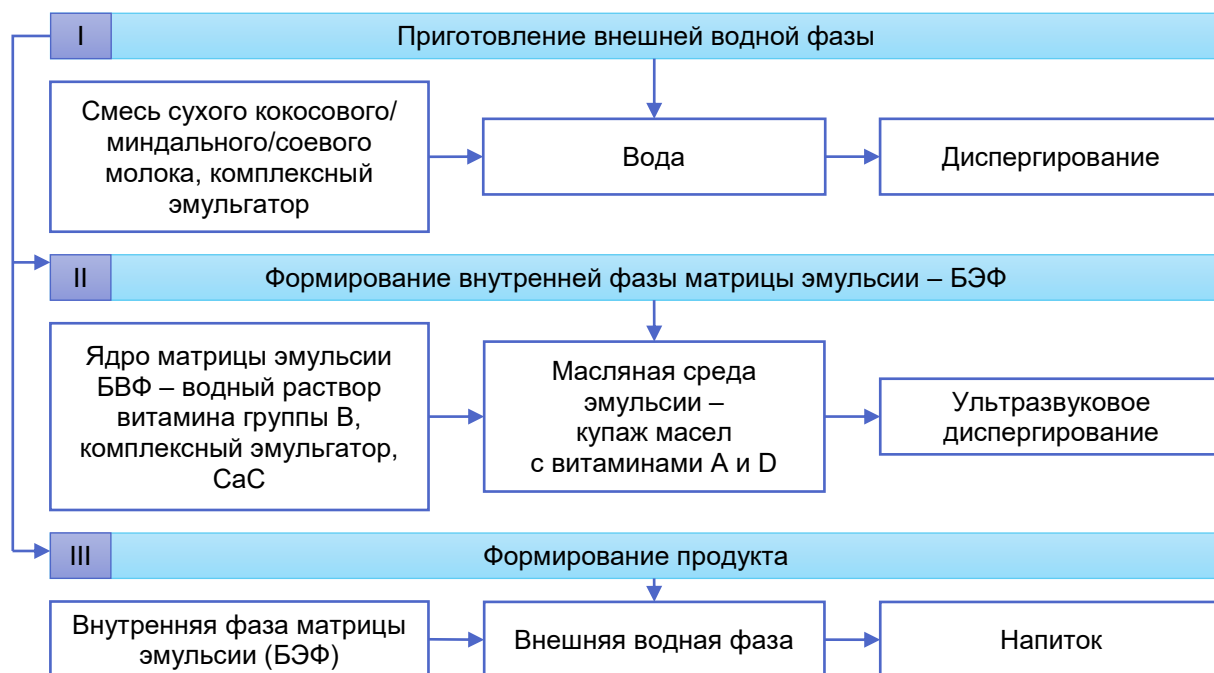


Рисунок 81 – Технология приготовления напитка на растительной основе

Миндальное молоко также имеет сбалансированный профиль пищевой ценности при высоких органолептических достоинствах. Прочие виды растительных аналогов молока, такие как рисовое и кокосовое молоко, нельзя считать идеальной альтернативой коровьему молоку из-за ограниченного количества нутриентов, но они могут использоваться в качестве специализированных продуктов для людей с аллергией на соевые бобы и (или) миндаль. В связи с этим были проведены исследования по разработке рецептур четырех модельных образцов напитков на растительной основе и определению профилей их пищевой и энергетической ценности, а также органолептических профилей. В модельных образцах 1 и 2 использовали купажи из соевого и кокосового молока в соотношениях 2:1 и 1:1 соответственно. Основу модельных образцов 3 и 4 составляли комбинации соевого и миндального молока в аналогичном соотношении (2:1 у образца 3 и 1:1 у образца 4). В рецептуры модельных образцов были дополнительно введены комплекс витаминов А и D₃ и комплекс витаминов группы В (тиамин, пиридоксин, цианкобаламин). В таблице 57 представлены рецептуры модельных образцов напитков на растительной основе.

Морфология и внешний вид напитков на растительной основе соответствуют морфологии и внешнему виду БЭПС В/М/В (рисунок 82).

Таблица 57 – Рецептуры модельных образцов напитков на растительной основе

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (в/м)	Внешняя фаза
Образец 1		
Купаж масел 4	23,00	–
Вода	11,29	48
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Молоко соевое сухое	–	10,0
Молоко кокосовое сухое	–	5,0
СаС	0,03	–
Комплекс витаминов А и D ₃	0,0005	–
Комплекс витаминов группы В	0,68	–
<i>Итого</i>	36,00	64,00
Образец 2		
Купаж масел 4	23,0	-
Вода	11,29	48
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Молоко соевое сухое	–	7,5
Молоко кокосовое сухое	–	7,5
СаС	0,03	–
Комплекс витаминов А и D ₃	0,0005	–
Комплекс витаминов группы В	0,68	–
<i>Итого</i>	36,00	64,00
Образец 3		
Купаж масел 4	23,0	–
Вода	11,29	48
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Молоко соевое сухое	–	10,0
Молоко миндальное сухое	–	5,0
СаС	0,03	–
Комплекс витаминов А и D ₃	0,0005	–
Комплекс витаминов группы В	0,68	–
<i>Итого</i>	36,00	64,00
Образец 4		
Купаж масел 4	23,0	–
Вода	11,29	48

Продолжение таблицы 57

Ингредиент	Содержание, мас.%	
	Внутренняя фаза (в/м)	Внешняя фаза
Комплексный эмульгатор	1,0	1,0
Молоко соевое сухое	–	7,5
Молоко кокосовое сухое	–	7,5
CaC	0,03	–
Комплекс витаминов А и D ₃	0,0005	–
Комплекс витаминов группы В	0,68	–
<i>Итого</i>	36,00	64,00

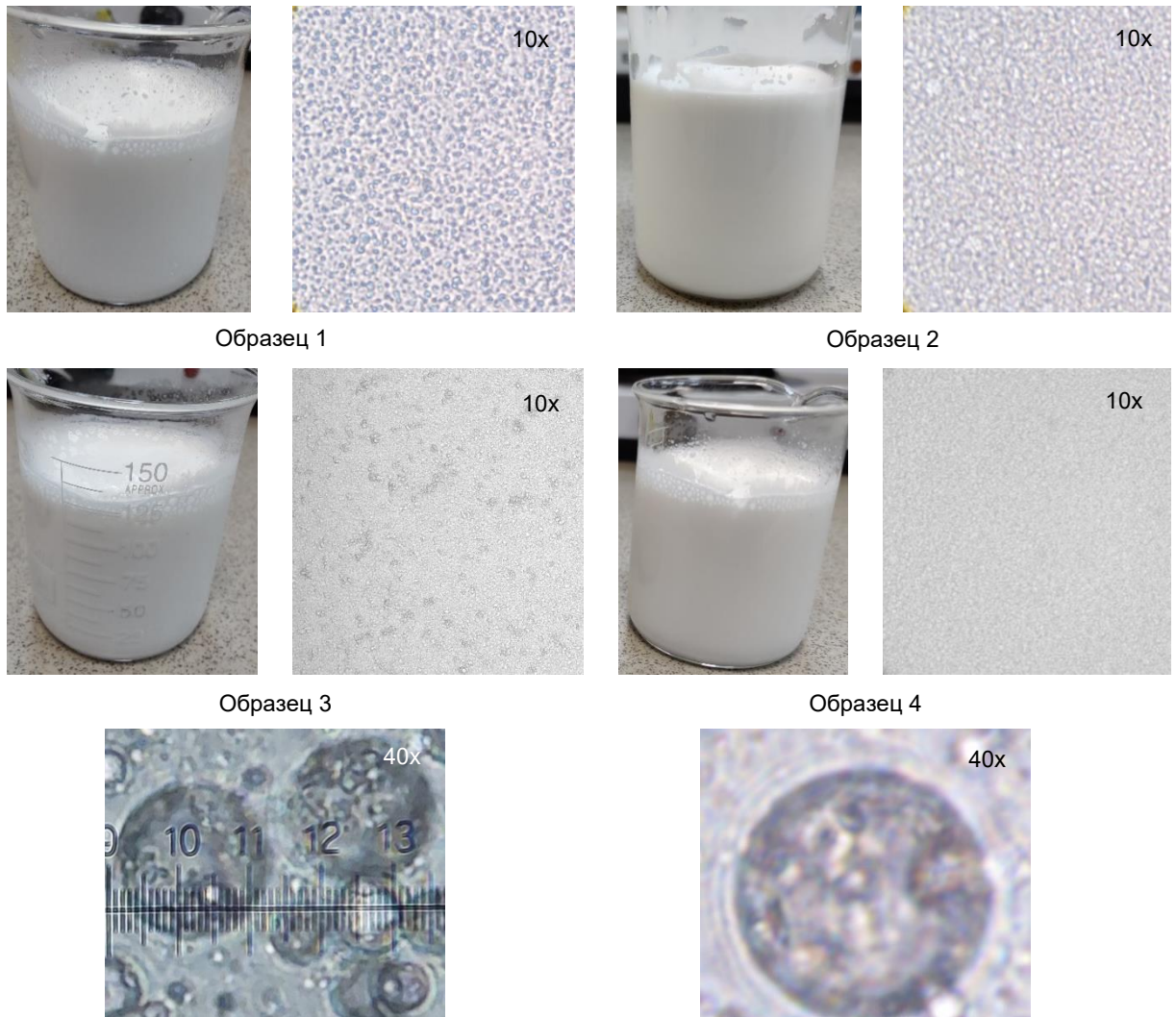


Рисунок 82 – Морфология (оптическая микроскопия) и внешний вид напитков на растительной основе (БЭПС В/М/В)

7.5.2 Оценка качества напитков на растительной основе

Проведен сравнительный анализ профилей пищевой и энергетической ценностей модельных образцов напитков на растительной основе (таблица 58).

Таблица 58 – Профили пищевой и энергетической ценностей модельных образцов напитков на растительной основе

Наименование нутриента	Содержание в 100 г продукта			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Углеводы, г:	16,32	14,75	17,71	16,8
сахара	4,57	4,41	4,16	3,79
Пищевые волокна, г	5,98	5,95	6,75	7,08
Жиры, г:	35,40	36,82	39,02	42,17
насыщенные	9,64	12,45	3,95	4,05
МНЖК	5,80	5,49	12,43	15,28
ПНЖК	18,12	16,98	20,75	20,87
Белки, г	16,44	12,96	20,36	18,88
Минеральные вещества, мг:				
кальций	152,39	124,78	208,49	207,66
железо	7,29	5,90	7,57	6,31
магний	127,44	101,40	179,8	178,75
фосфор	327,95	265,92	408,91	385,52
калий	851,03	699,73	933,97	822,26
натрий	5,26	7,15	1,08	0,98
цинк	2,35	1,96	2,80	2,61
Витамины, мг:				
аскорбиновая кислота	3,31	3,02	2,58	1,95
тиамин	0,62	0,53	0,64	0,35
рибофлавин	0,37	0,29	0,62	0,65
ниацин	0,82	0,71	1,50	1,71
пиридоксин	0,47	0,44	0,49	0,17
фолаты, мкг	166,97	130,33	170,93	136,18
цианкобаламин, мкг	1,80	1,80	1,80	1,80
витамин А, мкг	400,43	400,33	400,43	400,33
витамин Е, мг	0,51	0,45	6,10	8,70
витамин D ₃ , мкг	97,50	97,50	97,50	97,50
Энергетическая ценность, ккал	444,77	435,11	494,27	508,24

Формирование профилей пищевой и органолептической ценности модельных образцов основывалось на наличии в их составе соевого, миндального и кокосового молока, а также купажа растительных масел, в том числе льняного масла, что позволило повысить содержание многих нутриентов.

Результаты исследования показали, что модельные образцы напитков на растительной основе характеризуются высокими значениями пищевой и энергетической ценности. Они содержат пищевые волокна в количестве от 5,95 г у образца 2 до 7,08 г у образца 4. Дополнительное введение в рецептуры витаминов А и D₃ позволило сформировать преимущество модельных образцов по их количеству.

Содержание белка в модельных образцах в среднем в 5 раз выше, чем в коровьем молоке.

Пищевые профили модельных образцов также характеризуются высоким содержанием жиров, основу которых составляют ненасыщенные жирные кислоты, в том числе полиненасыщенные (в среднем 19 г ПНЖК). Высокое содержание жиров в модельных образцах обусловило более высокую энергетическую ценность.

Модельные образцы выгодно отличаются высоким содержанием в их составе кальция. По другим минеральным веществам также получены более высокие значения у модельных образцов. Фосфора в модельных образцах содержится в среднем в 3,7 раза больше в сравнении с коровьим молоком, железа – в 135 раз, магния – в 11,3 раза, калия – в 5,5 раза, цинка – в 6,4 раза. Модельные образцы проигрывают коровьему молоку среди минеральных веществ лишь по содержанию натрия. Однако в настоящее время наблюдается его избыток в рационе населения.

Анализируя данные таблицы 58, можно сделать вывод, что оптимальный профиль пищевой ценности среди модельных образцов имеет образец 3. Он имеет максимальные значения по содержанию белка, минеральных веществ и многих витаминов. По другим нутриентам имеет сходные с другими образцами значения или незначительно ниже максимальных.

Исходя из назначения напитков на растительной основе – заменить молоко животного происхождения, была поставлена задача по формированию соответствующих органолептических профилей разработанных образцов. Согласно по-

ставленной задаче дегустаторами была составлена панель дескрипторов – индивидуальных характеристик модельных образцов, оценена их интенсивность и составлены органолептические профили (рисунок 83).

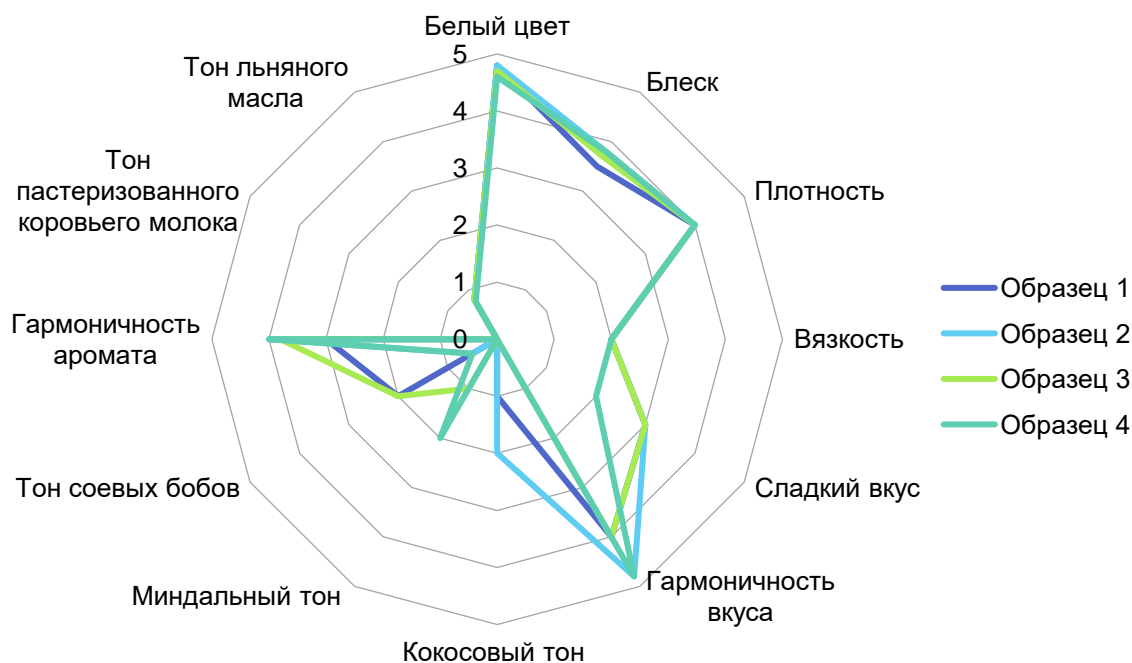


Рисунок 83 – Вкусоароматические профили модельных образцов напитков на растительной основе

Сравнительный органолептический анализ модельных образцов позволил сделать следующие выводы.

Все образцы имеют белый цвет. Хотя используемые виды растительного «молока» имеют различные оттенки, а в рецептуре присутствует купаж масел, ультразвуковое диспергирование способствует образованию тонкой эмульсии, которая приобретает белый цвет, аналогичный цвету коровьего молока, формируемый благодаря высокому содержанию белка и его взаимодействию с каплями жира. Образцы имеют практически одинаковую интенсивность дескриптора «блеск».

Модельные образцы имеют плотную и вязкую консистенцию.

Степень сладости образцов различается незначительно: образцы 1, 2 и 3 имеют сладкий вкус, а образец 4 характеризуется интенсивностью сладкого вкуса с более низким значением.

Более гармоничным можно назвать вкус у образцов 2 и 4, в основе которых использовалось соевое молоко в пропорции 1:1 с кокосовым и миндальным соответственно. В данных образцах менее выражен тон соевых бобов, характерный для соевого молока, но в большей степени присутствуют кокосовый тон (образец 2) и миндальный тон (образец 4). Тон льняного масла имеет невысокую интенсивность, одинаковую для всех образцов напитков на растительной основе.

Аромат образцов гармоничный, аналогичные значения по данному дескриптору имеют образцы 2; 3 и 4.

Из полученных результатов можно заключить, что органолептические профили модельных образцов, основу которых составляют соевое и кокосовое молоко в соотношении 1:1 (образец 1), соевое и миндальное молоко в соотношении 2:1 (образец 3) и 1:1 (образец 4), наиболее приближены к органолептическому профилю коровьего молока по наиболее значимым дескрипторам: «сладкий вкус», «гармоничность вкуса», «гармоничность аромата».

Результаты исследования показали, что модельный образец 3, полученный на основе соевого и миндального молока в соотношении 2:1, по совокупности двух профилей – профиля пищевой ценности и органолептического профиля является наиболее оптимальным для использования в качестве напитков на растительной основе [122].

Далее определяли степень сохраняемости витаминов группы В в процессе хранения напитков на растительной основе. В качестве маркера использовали цианкобаламин в связи с тем, что изначально он не содержался в сырьевых ингредиентах, в отличие от тиамина и пиридоксина, и вносился исключительно в ядро матрицы эмульсии. В связи с этим исследования динамики сохранения цианкобаламина в напитках на основе БЭПС позволят проанализировать эффективность его инкапсулирования. Результаты представлены на рисунке 84 и в таблице 59.

Из полученных результатов следует, что содержание цианкобаламина во всех опытных образцах снижается в процессе хранения.

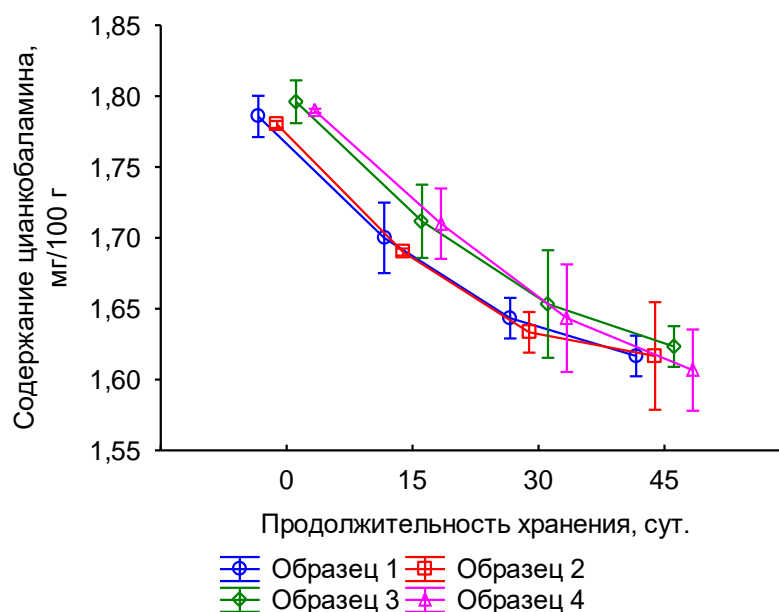


Рисунок 84 – Динамика содержания цианкобаламина в процессе хранения опытных образцов напитков на растительной основе

Таблица 59 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Содержание цианкобаламина, мкг							
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %	Образец 4	V, %
0	1,79 ± 0,01 ^{bcd}	0,33	1,78 ± 0,001 ^{bcd}	0,06	1,80 ± 0,01 ^{bcd}	0,34	1,79 ± 0,001 ^{bcd}	0,03
15	1,70 ± 0,01 ^{acd}	0,59	1,69 ± 0,001 ^{acd}	0,06	1,71 ± 0,01 ^{acd}	0,61	1,71 ± 0,01 ^{acd}	0,58
30	1,64 ± 0,01 ^{abd}	0,35	1,63 ± 0,06 ^{ab}	0,35	1,65 ± 0,02 ^{abd}	0,92	1,64 ± 0,02 ^{abd}	0,93
45	1,62 ± 0,01 ^{abc}	0,36	1,62 ± 0,02 ^{ab}	0,94	1,62 ± 0,01 ^{abc}	0,36	1,61 ± 0,01 ^{abc}	0,72
Сила влияния, %	99,70 (<i>p</i> < 0,01)		99,59 (<i>p</i> < 0,01)		99,41 (<i>p</i> < 0,01)		99,40 (<i>p</i> < 0,01)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a–d* по продолжительности хранения) существенны (*p* < 0,01).

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений содержания цианкобаламина в исследуемых образцах напитка на растительной основе незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на содержание цианкобаламина, сила влияния более 99 %, *p* < 0,01.

На 15-е сутки хранения его количество снижается в среднем на 4,9 %, на 30-е еще на 3,7 % и на 45-е сутки на 1,4 %. В конечной точке продолжительности хранения потери в среднем составляют 9,6 %. Это подтверждает эффективность ин-

капсулирования витаминов в ядро матрицы БЭПС, на основе которой разработаны напитки на растительной основе.

7.5.3 Установление регламентируемых показателей качества и сроков годности напитков на растительной основе

На основании проведенных исследований для напитков на растительной основе установлены регламентируемые показатели качества (таблица 60).

Таблица 60 – Регламентируемые органолептические показатели напитка на растительной основе

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид и консистенция	Непрозрачная, мутная, однородная жидкость. Без посторонних включений
Вкус и запах	Свойственный вкусу и запаху используемого зернового, орехового, кокосового сырья. Посторонние привкус и запах не допускаются
Цвет	От белого до кремового
Массовая доля сухих веществ, %	Не менее 59
Массовая доля сухих веществ из зернового, орехового, кокосового сырья, %	Не менее 1,0
Массовая доля жира, %	Не менее 23
Массовая доля цианкобаламина, мкг/100 см ³	Не менее 1,75

Для установления сроков годности проведены исследования значимых показателей качества напитка на растительной основе в процессе хранения.

Опытные образцы, выработанные в условиях ООО «ПРО-питание», расфасованные в стерилизованные стеклянные бутылки и укупоренные пластиковой крышкой, были заложены на хранение в течение 1 мес. при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Оценка органолептических показателей качества опытных образцов напитков на растительной основе проводилась по пятибалльной шкале с применением профильного метода (коэффициент согласованности – 0,7 доверительной вероятности – 0,95).

Профилограммы органолептических показателей качества представлены на рисунке 85.

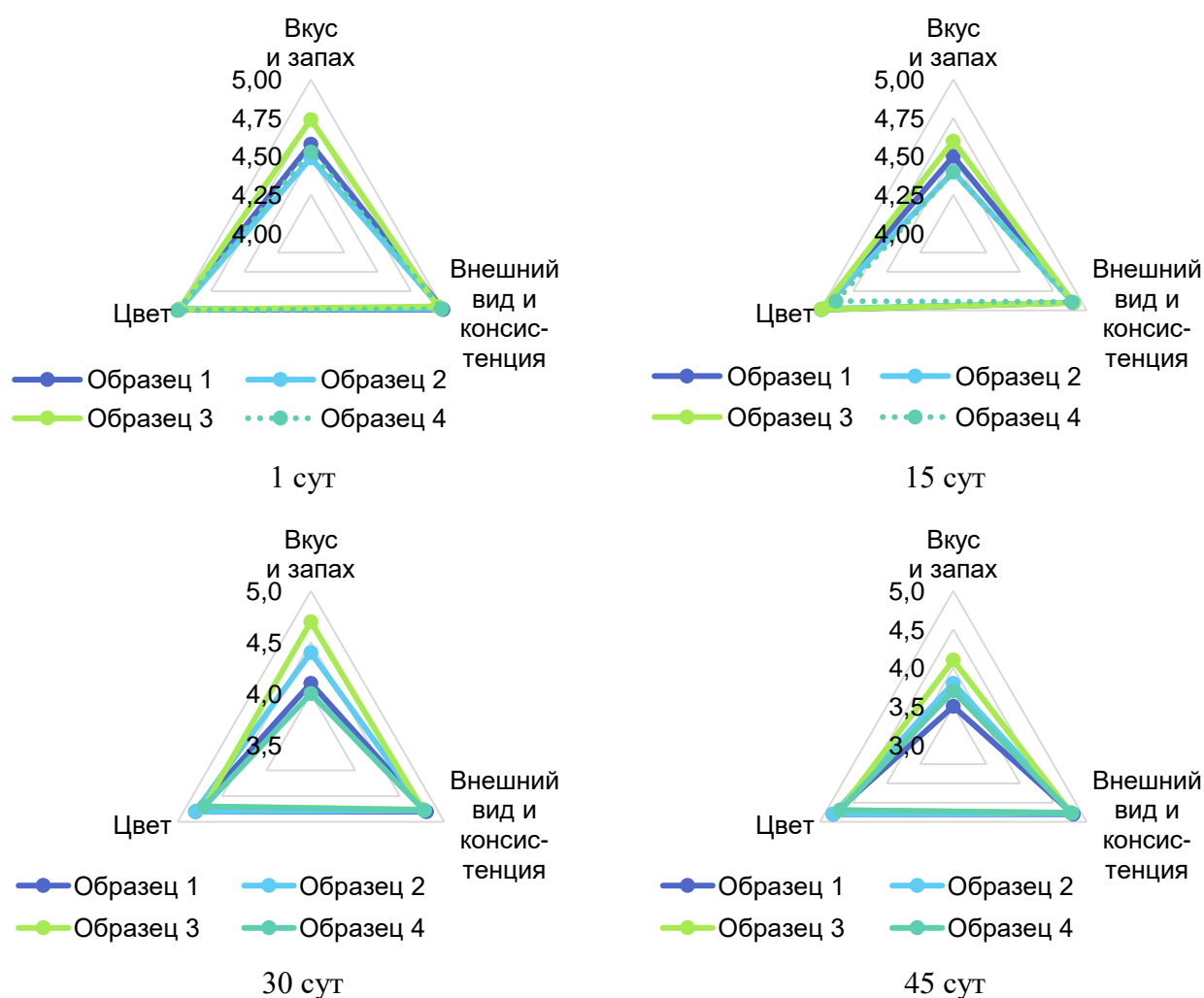


Рисунок 85 – Профилограммы органолептических показателей опытных образцов напитка на растительной основе в процессе хранения

На протяжении 30 сут хранения значения органолептических показателей качества оставались практически неизменными. По истечении данного периода наблюдались изменения во вкусе и запахе всех опытных образцов напитка на растительной основе.

Напитки на растительной основе были стабильными в течение 45 сут (рисунок 86, таблица 61).

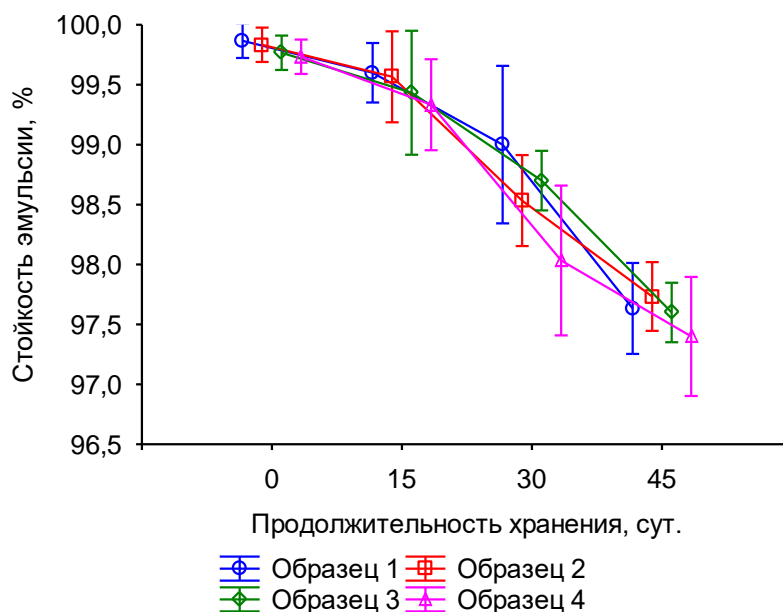


Рисунок 86 – Динамика стойкости эмульсии опытных образцов напитков на растительной основе в зависимости от продолжительности хранения

Таблица 61 – Результаты статистической обработки данных

Продолжительность хранения, сут	Стойкость эмульсии, %							
	Образец 1	V, %	Образец 2	V, %	Образец 3	V, %	Образец 4	V, %
0	99,87 ± 0,06 ^{cd}	0,06	99,83 ± 0,06 ^{cd}	0,06	99,77 ± 0,06 ^{cd}	0,06	99,73 ± 0,06 ^{cd}	0,06
15	99,60 ± 0,10 ^{cd}	0,10	99,57 ± 0,15 ^{cd}	0,15	99,43 ± 0,21 ^{cd}	0,21	99,33 ± 0,15 ^{cd}	0,15
30	99,00 ± 0,26 ^{abd}	0,27	98,53 ± 0,15 ^{abd}	0,16	98,70 ± 0,10 ^{abd}	0,10	98,03 ± 0,25 ^{abd}	0,26
45	97,63 ± 0,15 ^{abc}	0,16	97,73 ± 0,12 ^{abc}	0,12	97,60 ± 0,10 ^{abc}	0,10	97,40 ± 0,20 ^{abc}	0,21
Сила влияния, %	99,11 (<i>p</i> < 0,01)		99,44 (<i>p</i> < 0,01)		99,40 (<i>p</i> < 0,01)		99,10 (<i>p</i> < 0,01)	

Примечание – Различия средних значений в строке с разными строчными буквами (*a-d* по продолжительности хранения) существенны (*p* < 0,01).

Статистические данные показывают, что степень рассеивания значений кислотности эмульсии исследуемых образцов напитка на растительной основе незначительна, продолжительность хранения оказывает значимое влияние на кислотность, сила влияния более 99 %, *p* < 0,01.

В таблице 62 представлены результаты исследований микробиологических показателей качества опытных образцов напитков на растительной основе в процессе хранения.

Таблица 62 – Результаты исследования динамики микробиологических показателей напитков на растительной основе в процессе хранения

Показатель	Образец	Допустимый уровень	Продолжительность хранения, сут			
			10	20	30	40
КМАФАнМ, КОЕ/г	1	Не более $5 \cdot 10^4$	Нет роста	Нет роста	$1,16 \cdot 10^2$	$1,52 \cdot 10^3$
	2		Нет роста	Нет роста	$1,28 \cdot 10^2$	$1,28 \cdot 10^3$
	3		Нет роста	Нет роста	$1,36 \cdot 10^2$	$1,64 \cdot 10^3$
	4		Нет роста	Нет роста	$1,34 \cdot 10^2$	$1,04 \cdot 10^3$
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	1–4	Не допускаются в 25 г	Не обнаружены			
Стафилококки <i>S. aureus</i>	1–4	Не допускаются в 1,0 г	Не обнаружены			
БГКП (колиформы)	1–4	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены			
Дрожжи, плесени, КОЕ/см ³ (г)	1	Не более 10	Нет роста		3	
	2		Нет роста		5	
	3		Нет роста		4	
	4		Нет роста		6	

На протяжении 40 сут хранения при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ микробиологические показатели опытных образцов напитков на растительной основе оставались в пределах допустимых уровней. На 45-е сутки было выявлено превышение допустимых уровней по КМАФАнМ.

Исследования органолептических, микробиологических показателей, и физико-химических показателей, позволили установить срок годности разработанных напитков на растительной основе – 30 сут с учетом коэффициента запаса 1,3.

Выводы по главе 7

В ходе реализации поставленных задач на основе БЭПС разработан ассортимент эмульсионных пищевых продуктов (ЭПП): эмульсионные биосоусы (БЭПС В/М/В), эмульсионные соусы, обогащенные омега-3 жирными кислотами (БЭПС М/В/М), кремы на растительных маслах (БЭПС М/В/М), сывороточные коктейли (БЭПС В/М/В) и напитки на растительной основе (БЭПС В/М/В).

Полученные в ходе исследования результаты показали, что разработанные эмульсионные пищевые продукты имеют морфологию аналогичную БЭПС, сформированную по технологии двойных эмульсий.

Проведена оценка качества ЭПП. Составлены органолептические профили полученных опытных образцов. Анализ полученных результатов показал, что внесение в рецептуры ЭПП на основе БЭПС вспомогательных ингредиентов не оказывает влияния на морфологию, внешний вид и консистенцию, и стойкость эмульсии.

Сохраняемость БАВ, инкапсулированных в ядро матрицы ЭПП на основе БЭПС, характеризуется высокими значениями. После 56 сут хранения эмульсионного биосоуса при температуре $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$ количество пробиотических бактерий в среднем снизилось на $3,8 \cdot 10^7$ КОЕ / cm^3 . Снижение количества витамина D в опытных образцах крема на растительных произошло в среднем на 30 %. Коэффициент удержания аскорбиновой кислоты в сывороточных коктейлях находится в пределах 80–85 % в течение 30 сут, а содержание цианкобаламина в опытных образцах напитка на растительной основе снижается в процессе хранения в течение 30 сут в среднем на 7 %.

На основе исследования показателей качества и безопасности в процессе хранения для всех ЭПП установлены регламентируемые показатели качества, сроки годности, разработана нормативно-техническая документация.

Полученные в ходе исследования результаты показали, что разработанные эмульсионные соусы, обогащенные омега-3 жирными кислотами, позволяют при употреблении одной порции в сутки на 156 % в среднем удовлетворить суточную

потребность взрослого человека в ЭПК и ДГК, на 32 % в среднем удовлетворить потребность в ПНЖК.

Основываясь на полученных результатах, можно заключить, что ЭПП способны обеспечить профилактику заболеваний разной этиологии при регулярном их употреблении.

Заключение

1. На основе обобщения имеющихся теоретических концепций и результатов экспериментальных исследований обоснована необходимость разработки фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

2. Предложена методология разработки БЭПС, основанная на фортификации БАВ, инкапсулированными в матрицу по технологии двойных эмульсий с использованием ультразвукового диспергирования для производства фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

3. Предложены понятийный аппарат и классификация эмульсионных пищевых систем, которая может быть применима для целей систематизации и расширения ассортимента фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов.

4. Разработана программа ЭВМ, позволяющая оперативно формировать оптимизированные составы биоактивной масляной фазы (среды) БЭПС с заданным соотношением БАВ липидной природы на основе комбинирования имеющихся сырьевых ресурсов и БАВ при заданных свойствах (характеристиках).

5. Разработана технология фортификации эмульсионных пищевых систем, способствующая увеличению сохраняемости и биодоступности БАВ. Определены оптимальные технологические решения, предусматривающие применение инкапсулирования БАВ в матрицу БЭПС по технологии двойных эмульсий и ультразвуковое диспергирование для обеспечения сохраняемости и биодоступности БАВ. Получены результаты исследования зависимости реологических характеристик, вносимого эмульгатора, комбинации масел и технологических параметров ультразвукового диспергирования на дисперсность и стабильность БЭПС. Определены оптимальные технологические параметры получения стабильных БЭПС с использованием комплексного эмульгатора на основе Tween 80 (Polysorbate 80) и соевого лецитина: рабочая частота 20 кГц, амплитуда 40–70 %, мощность 550–750 Вт, продолжительность – 2–10 мин, массовая доля комплексного эмульгатора – 1 %. Показана кинетическая стабильность БЭПС: отсутствие седиментации и максимально

однородное распределение капель дисперсной фазы, средний диаметр которых находится в пределах от 6,1 до 7,7 мкм на протяжении всего периода хранения.

6. Установлен перечень факторов, влияющих на комплексный показатель качества и сохраняемость БЭПС (технические параметры ультразвукового диспергирования, вид и количество эмульгатора, соотношение масляной и водной фазы, температура, перекисное число, микробиологические показатели) и механизмы их влияния на формирование стабильных БЭПС; построены регрессионные математические модели, позволяющие прогнозировать качественные характеристики и устойчивость в хранении фортифицированных БЭПС.

7. Установлена возможность коррекции специфического флейвора БАВ при их инкапсулировании в матрицу БЭПС: устранение неприятного запаха и послевкусия рыбьего жира и витамина В₁, посторонних привкусов, а также улучшение цвета ЭПП. Данный факт способствует формированию заданных потребительских характеристик и расширяет возможности использования БАВ, обладающих специфическими органолептическими характеристиками. Экспериментально доказано, что инкапсулирование способствует увеличению сохраняемости БАВ, за счет формирования межфазного слоя и обеспечения их защиты в составе матрицы эмульсионных пищевых продуктов от преждевременной деградации. Увеличение сохраняемости БАВ составило для водорастворимых и жирорастворимых витаминов – 34,0 % и 24,0 % соответственно; пробиотиков – 90 %. Устойчивость к окислению ПНЖК увеличилась на 35,4 %. Определено, что ультразвуковое диспергирование в технологии получения БЭПС способствует снижению контаминации микроорганизмами и меньшему темпу их роста.

8. В доклинических испытаниях экспериментально подтверждено повышение биодоступности БАВ, инкапсулированных в матрицу БЭПС. Количественное содержание витамина В₁₂ в крови лабораторных животных, получавших БЭПС на 10,4 % превышает его содержание в крови лабораторных животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина В₁₂ в крови в количестве меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС.

9. Научно обоснованы рецептуры и технологии получения фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов: эмульсионный биосоус с инкапсулированным пробиотическим комплексом, эмульсионный соус с инкапсулированными ЭПК и ДГК в составе рыбьего жира, крем на растительных маслах с инкапсулированными витаминами А и D, сывороточный коктейль с инкапсулированными водорастворимыми витаминами, напитки на растительной основе с инкапсулированным витамином D и кальцием. Проведена оценка качества фортифицированных эмульсионных пищевых продуктов, установлены регламентируемые показатели качества, режимы и сроки хранения. Рецептуры и технологии апробированы на промышленных предприятиях и предприятиях индустрии питания.

Список сокращений и условных обозначений

- АЛК – альфа-линоленовая кислота.
- БАВ – биологически активные вещества.
- БАД – биологически активные добавки.
- БДК – биоактивный дисперсный комплекс.
- БВДФ(С) – биоактивная водная дисперсная фаза (среда).
- БМДФ(С) – биоактивная масляная дисперсная фаза (среда).
- БЭПС – биоактивные эмульсионные пищевые системы.
- БЭФ – биоактивный эмульсионный фортификат.
- ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография.
- В/М – обратная эмульсия «вода в масле».
- В/М/В – двойная эмульсия (обратная эмульсия в водной среде).
- ГЛБ – гидрофильно-липофильный баланс.
- ДГК – докозагексаеновая кислота.
- М/В – прямая эмульсия масло в воде.
- М/В/М – двойная эмульсия (прямая эмульсия в масляной среде).
- МСТ – medium chain tryglycerides (среднецепочечные триглицериды).
- НИЗ – неинфекционные заболевания.
- ПАВ – поверхностно-активное вещество.
- ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты.
- ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций.
- ФПС – фортификация пищевых систем.
- ЭН – эссенциальные нутриенты.
- ЭПК – эйкозапентаеновая кислота.
- ЭПП – эмульсионный пищевой продукт.
- ЭПР – электронный парамагнитный резонанс.
- ЭПС – эмульсионные пищевые системы.

Словарь терминов

Биоактивная эмульсионная пищевая система – эмульсионная пищевая система, дополнительно обогащенная биологически активными веществами до уровня, превышающего их естественное содержание в них.

Двойные эмульсии – жидкие дисперсионные системы, известные также как эмульсии эмульсий, в которых капли одной дисперсной жидкости (эмульсия, микроэмульсия, липосома и т. д.) далее диспергируются в другой жидкости (воде или масле), образуя двухслойные жидкие капли.

Диспергирование – тонкое измельчение твердых тел или жидкостей, в результате чего получают порошки, суспензии, эмульсии.

Инкапсулирование (инкапсуляция) – процесс иммобилизации частиц твердого тела, жидкости или газа (ингредиента, ядра или активной части материала) во вторичный материал, называемый матрицей, оболочкой, стенкой, инкапсулянтном или материалом-носителем.

Ультразвуковая кавитация – комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

Обратная эмульсия – капли воды в масле.

Прямая эмульсия – капли масла в воде.

Флейвор – комплексное ощущение в полости рта, вызываемое вкусом, запахом и текстурой пищевого продукта.

Фортификация, или усиление (от англ. amplification), – дополнительное обогащение продуктов питания недостающими пищевыми веществами до уровня, превышающего их естественное содержание.

Эмульгаторы – химические соединения или их смеси, обеспечивающие создание стабильных эмульсий из несмешивающихся жидкостей.

Эмульсия – дисперсная система, состоящая из микроскопических капель жидкости – дисперсной фазы, распределенных в другой жидкости – дисперсионной

среде), которая может быть образована двумя любыми несмешивающимися жидкостями.

Эмульсионная пищевая система – комплекс взаимодействующих пищевых компонентов, состоящий из двух несмешивающихся жидкостей.

Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) – метод проведения исследований, основанный на увеличении скорости химических процессов, протекающих в пищевых системах, посредством создания особо неблагоприятных условий хранения.

Список литературы

1. Абдыкерова, С. Ж. Терминологические аспекты проблемы классификации товаров в таможенных целях / С. Ж. Абдыкерова, Е. И. Андреева // Вестник Российской таможенной академии. – 2020. – № 2 (51). – С. 136–142. – EDN ZEGJSE.
2. Агапитов, А. Е. Терминология профилактической медицины / А. Е. Агапитов, Д. В. Пивень. – 2-е изд., перераб. и доп. – Иркутск : Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, 2013. – 172 с. – ISBN 978-5-89786-111-8. – EDN TUBSNX.
3. Аксенова, Л. М. Исследование изменений качества галет методом «ускоренного старения» / Л. М. Аксенова, Л. Е. Скокан, Н. Б. Кондратьев, А. П. Нечаев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 4. – С. 6–8. – EDN SJMRRV.
4. Аметов, А. С. Роль гомоцистеина в развитии диабетической полиневропатии и эндотелиальной дисфункции / А. С. Аметов, А. А. Косян. – DOI 10.24411/2304-9529-2019-11004 // Эндокринология. Новости. Мнения. Обучение. – 2019. – Т. 8, № 1 (26). – С. 32–39. – EDN ZCIOEP.
5. Амиров, Ф. П. Метаболиты полиненасыщенных жирных кислот в качестве биологически активных веществ / Ф. П. Амиров, С. С. Протопоп // Интернаука. – 2021. – № 16-1 (192). – С. 62–64. – EDN IDDSMA.
6. Аналитики назвали популярные у россиян растительные аналоги молока / Портал Sfera.fm. – URL: <https://sfera.fm/news/molochnaya/analitiki-nazvali-samyepopulyaryne-u-rossiyan-rastitelnye-analogi-moloka> (дата обращения: 15.01.2024).
7. Антипова, Л. В. Эмульсии в технологии производства пищевых продуктов / Л. В. Антипова, Э. В. Фаустова, М. Е. Успенская, С. А. Сторублевцев // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 129. – EDN PBJTWD.
8. Афанасенко, В. Г. Оптимизация ультразвукового эмульгирования при механическом перемешивании / В. Г. Афанасенко, П. А. Кулаков, Е. В. Боев [и др.]. – DOI 10.18799/24131830/2020/4/2602 // Известия Томского политехнического уни-

верситета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 4. – С. 148–155. – EDN GLDSTM.

9. Бабак, В. Г. Коллоидная химия в технологии микрокапсулирования : в 2 ч. / В. Г. Бабак. – Свердловск : Уральский университет, 1991. – Ч. 1. – 171 с.

10. Базарнова, Ю. Г. Применение кинетического моделирования для прогнозирования сроков годности коровьего масла / Ю. Г. Базарнова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 8. – С. 19–23.

11. Базарнова, Ю. Г. Технология инкапсулирования пищевых ингредиентов / Ю. Г. Базарнова // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. – 2014. – № S1. – С. 61–63. – EDN TNDWMF.

12. Белецкая, М. Е. Влияние сушки на качество сухого молока / М. Е. Белецкая, А. А. Владимиров, О. В. Кригер [и др.] // Молочная промышленность. – 2019. – № 6. – С. 22–23. – EDN FNJHWL.

13. Берталанфи, Л. фон. Общая теория систем — критический обзор Архивная копия от 25 мая 2012 на Wayback Machine / Л. фон Берталанфи // Исследования по общей теории систем : сб. пер. / общ. ред. В. Н. Садовского, Э. Г. Юдина. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 23–82.

14. Бочарова-Лескина, А. Л. Математическое моделирование в технологии и оценке качества пищевых продуктов / А. Л. Бочарова-Лескина, Е. Е. Иванова. – DOI 10.21515/1990-4665-125-010 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 125. – С. 164–179. – EDN XVIESF.

15. Бочарова-Лескина, А. Л. Целесообразные математические методы прогнозирования хранимоспособности пищевых продуктов / А. Л. Бочарова-Лескина, Л. А. Яценко, С. Б. Вербицкий // Развитие научного наследия великого ученого на современном этапе : сб. междунар. науч.-практ. конф. (Махачкала, 17 марта 2021 г.). – Махачкала : ДагГАУ, 2021. – Т. II. – С. 484–495. – EDN GWVCVD.

16. Бурдаев, Н. И. Липосомы как носители лекарственных средств: классификация, методы получения и применение / Н. И. Бурдаев, Л. Л. Николаева, В. В. Косенко [и др.]. – DOI 10.30895/1991-2919-2023-508 // Ведомости Научного

центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. – 2023. – Т. 13, № 2-1. – С. 316–332. – EDN SWHDWC.

17. Бычкова, Е. С. Тенденции развития технологии микрокапсулирования / Е. С. Бычкова, А. Д. Син, Д. А. Белякова [и др.]. – DOI 10.24412/0235-2486-2021-4-0044 // Пищевая промышленность. – 2021. – № 4. – С. 36–41. – EDN EISCOT.

18. Васькина, В. А. Создание эмульсии льняного масла, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью / В. А. Васькина, С. А. Бутин, Е. В. Веретенникова, Ш. А. Мухамедиев // Кондитерское производство. – 2016. – № 5. – С. 10–15. – EDN XDYOPP.

19. Вебер, С. Л. ЭПР – всегда в резонансе. Электронный парамагнитный резонанс в химии, материаловедении и биологии / С. Л. Вебер, М. Ю. Иванов, О. А. Крумкачева [и др.] // Наука из первых рук. – 2023. – № 2–3 (97). – С. 48–61.

20. Владимиров, Ю. А. Свободные радикалы в биологических системах / Ю. А. Владимиров // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 12. – С. 13–19.

21. Герасименко, Е. О. Анализ факторов, определяющих вязкость жидких лецитинов / Е. О. Герасименко, Е. А. Бутина, И. А. Дубровская [и др.]. – DOI 10.26297/0579-3009.2020.5-6.15 // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 5–6 (377–378). – С. 64–68. – EDN YCJNAG.

22. Гладышев, М. И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека / М. И. Гладышев // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 352–386. – EDN PVVEXF.

23. Глазкова, И. В. Горбик, В. С. Липосомы как система таргетной доставки лекарственных средств (обзор) / В. С. Горбик, З. С. Шпрах, Ж. М. Козлова, В. Г. Салова. – DOI 10.17650/1726-9784-2021-20-1-33-41 // Российский биотерапевтический журнал. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 33–41. – EDN GJUXAF.

24. Гусев, К. А. Разработка состава и технологии получения аморфной твердой дисперсной системы эбастина методом экструзии горячего расплава для уве-

личения скорости растворения / К. А. Гусев, А. Р. Алиев, Ю. Э. Генералова [и др.]. – DOI 10.33380/2305-2066-2023-12-4-1577 // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2023. – Т. 12, № 4. – С. 126–135. – EDN ZHIZET.

25. Гусев, К. А. Разработка состава и технологии получения твердой дисперсной системы методом экструзии горячего расплава для повышения биодоступности действующего вещества / К. А. Гусев, Д. Н. Маймистов, В. И. Павловский [и др.]. – DOI 10.33380/2305-2066-2022-11-4-108-115 // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2022. – Т. 11, № 4. – С. 108–115. – EDN AXWFSH.

26. Долголюк, И. В. Растительные масла – функциональные продукты питания / И. В. Долголюк, Л. В. Терещук, М. А. Трубникова, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 2 (33). – С. 122–125. – EDN SEPQSD.

27. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых в экспериментах и в других научных целях (ETS N 123) (Страсбург, 18 марта 1986 г.). – URL: <https://rm.coe.int/168007аба8> (дата обращения: 18.03.2024).

28. Ерычев, М. А. Классификация эмульсий, методы их получения, свойства и практическое применение / М. А. Ерычев // Современные тенденции развития науки и образования : материалы междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. (Прага, 24 декабря 2018 г.). – Прага : Мир науки, 2018. – С. 25–38. – EDN YVBIQP.

29. Жданов, Д. Д. Выявление фальсификации оливкового масла путем разбавления рапсовым и подсолнечным маслами по триацилглицеридному профилю с использованием метода газовой хроматографии / Д. Д. Жданов, Е. А. Бутина, И. А. Дубровская [и др.]. – DOI 10.47370/2072-0920-2022-18-4-60-77 // Новые технологии. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 60–77. – EDN FDHXCD.

30. Жмурина, Н. Д. Обоснование использования сухой функциональной смеси «Промикс» при производстве эмульсии / Н. Д. Жмурина, С. Ю. Кобзева, Е. А. Ямбулатова [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № S2. – С. 189. – EDN XCFEPP.

31. Задымова, Н. М. Обратные и двойные эмульсии как основа микрогетерогенных матриц для трансдермальной доставки липофильных лекарств / Н. М. За-

дымова, Г. А. Аршакян, В. Г. Куличихин // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2013. – Т. 62, № 3. – С. 801–814.

32. Задымова, Н. М. Свойства двойных эмульсий масло₁/вода/масло₂, содержащих липофильный акриловый полимер / Н. М. Задымова, М. В. Потешнова, В. Г. Куличихин // Коллоидный журнал. – 2012. – Т. 74, № 5. – С. 563–575. – EDN PBAHLP.

33. Иванова, Я. О. Получение и исследование свойств наноэмульсий, содержащих I-каррагинан и облепиховое масло / Я. О. Иванова, М. М. Костромичева, К. Л. Воронина, М. Ю. Королева // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35, № 9 (244). – С. 23–25. – EDN FQKYDZ.

34. Иванцова, Е. А. Оценка состояния молочной промышленности России в период пандемии коронавируса / Е. А. Иванцова, А. С. Венецианский, О. В. Зорькина [и др.]. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-3-10 // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 95–107. – EDN LUIARY.

35. Калинина, И. В. Биодоступность куркумина, инкапсулированного в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / И. В. Калинина, Р. И. Фаткуллин, Н. В. Науменко [и др.]. – DOI 10.29141/2500-1922-2023-8-3-10 // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 3. – С. 97–104. – EDN THXZRM.

36. Калинина, И. В. Использование плазмолизированных дрожжей для инкапсуляции и повышения биодоступности растительных антиоксидантов / И. В. Калинина, Р. И. Фаткуллин, Н. В. Науменко. – DOI 10.32417/1997-4868-2023-23-12-65-73 // Аграрный вестник Урала. – 2023. – Т. 23, № 12. – С. 65–73. – EDN RUCNUQ.

37. Калинина, И. В. Исследование влияния пищевых ингредиентов на основе дигидрокверцетина на реологические свойства теста для хлебобулочных изделий / И. В. Калинина, Р. И. Фаткуллин, Д. Иванова [и др.]. – DOI 10.14529/food190103 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 21–30. – EDN YYIRKH.

38. Калинина, И. В. Наноэмульсии, полученные с применением ультразвука, как способ инкапсуляции биологически активных веществ / И. В. Калинина, И. Ю. Потороко, Р. И. Фаткуллин [и др.]. – DOI 10.24411/1999-6837-2018-13062

// Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 3 (47). – С. 88–95. – EDN YOYPTV.

39. Калинина, И. В. Оптимизация условий инкапсуляции рутина в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / И. В. Калинина, Р. И. Фаткуллин, Е. Е. Науменко. – DOI 10.14529/food220408 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 80–88. – EDN ICPILH.

40. Капустин, С. В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С. В. Капустин, О. Н. Красуля // Интерактивная наука. – 2016. – № 2. – С. 101–103. – EDN VSXBHJ.

41. Келли, П. Неметаболизированная фолиевая кислота в сыворотке: исследования непосредственных эффектов вещества у людей, употребляющих обогащенные продукты питания и добавки / П. Келли, Д. Макпартлин, М. Гоггинз [и др.] // Эффективная фармакотерапия. – 2014. – № 11. – С. 22–31. – EDN RZLYIJ.

42. Кесати, Э. Э. Влияние полисахаридов на свойства наноэмульсий с облепиховым маслом / Э. Э. Кесати, Я. О. Иванова, М. Ю. Королева // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 9 (258). – С. 129–131. – EDN GOGLMJ.

43. Кинетика изменения свойств почв, процессов и режимов, протекающих в почвах : монография / В. И. Савич, И. И. Васенев, А. Е. Сорокин [и др.]. – Москва : Плодородие, 2021. – 220 с. – ISBN 978-5-6046665-1-7. – EDN OWSERK.

44. Кирсанов, Е. А. Неньютоновское течение структурированных систем. II. Анализ кривых течения / Е. А. Кирсанов, Ю. Н. Тимошин // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2012. – № 4 (42). – С. 71–80. – EDN PVVIFYX.

45. Коваль, О. А. Математические методы оценки качества пищевых продуктов при хранении / О. А. Коваль, В. С. Гуць // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 23–24 мая 2013 г.). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 59–62. – EDN TCJWYD.

46. Коденцова, В. М. Витаминизация пищевых продуктов массового потребления: история и перспективы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, А. А. Сокольников // Вопросы питания. – 2012. – Т. 81, № 5. – С. 66–78. – EDN PJQZJZ.

47. Коденцова, В. М. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 4. – С. 113–124. – EDN ZFTKLT.

48. Колоскова, А. В. Технические науки, особенности их структуры и методов / А. В. Колоскова, С. А. Лебедев. – DOI 10.18698/2306-8477-2017-5-433 // Гуманитарный вестник. – 2017. – № 5 (55). – С. 3. – EDN YNVXNF.

49. Кондратьев, Н. Б. Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля / Н. Б. Кондратьев, О. С. Руденко, М. В. Осипов, А. Е. Баженова. – DOI 10.36107/spfr.2022.354 // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2022. – № 4. – С. 22–39. – EDN VBCFQB.

50. Королев, А. А. Гигиенические подходы к обогащению пищевых продуктов кальцием и витамином D / А. А. Королев, Е. И. Никитенко, Р. Н. Фетисов // Вопросы детской диетологии. – 2006. – Т. 4, № 4. – С. 24. – EDN LVXMJZ.

51. Королева, М. Ю. Наноэмульсии: свойства, методы получения и перспективные области применения / М. Ю. Королева, Е. В. Юртов // Успехи химии. – 2012. – Т. 81, № 1. – С. 21–43. – EDN OOGGDB.

52. Кочеткова А. А. Пищевые эмульсии и эмульгаторы: некоторые научные обобщения и практические подробности / А. А. Кочеткова // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2002. – № 2. – С. 8–13.

53. Кочеткова, А. А. Обогащенные, функциональные и специализированные пищевые продукты: роль в питании, законодательная база / А. А. Кочеткова, В. М. Воробьева, Е. А. Смирнова [и др.] // Пищевые ингредиенты в продуктах питания: от науки к технологиям : монография / под ред. В. А. Тутельяна [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : МГУПП, 2021. – С. 220–237. – EDN EEIBIT.

54. Красуля, О. Н. Пищевая сонохимия: реальность и перспективы / О. Н. Красуля. – DOI 10.36107/hfb.2021.i4.s124 // Health, Food & Biotechnology. – 2021. – Т. 3, № 4. – С. 60–63. – EDN HGXBNX.

55. Красуля, О. Н. Сонохимическое воздействие на пищевые эмульсии / О. Н. Красуля, В. И. Богуш, С. С. Хмелев [и др.]. – DOI 10.14529/food170206 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 38–48. – EDN YPLQZN.

56. Кролевец, А. А. Применение нано- и микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности. Часть I. Основы микрокапсулирования / А. А. Кролевец, Ю. А. Тырсин, Е. Е. Быковская // Вестник РАЕН. – 2012. – Т. 12, № 4. – С. 123–127. – EDN TXIAYF.

57. Кролевец, А. А. Применение нанои микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности. Часть 2. Характеристика инкапсулирования / А. А. Кролевец, Ю. А. Тырсин, Е. Е. Быковская // Вестник РАЕН. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 77–84. – EDN QCRDHI.

58. Кюрегян, Г. П. Применение кавитационного эффекта при производстве эмульсий длительного хранения для различных отраслей промышленности / Г. П. Кюрегян, Н. В. Комаров, О. Д. Кюрегян // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2015. – № 1–2. – С. 29–32. – EDN VTKCST.

59. Лапыгин, Ю. Н. Системное решение проблем: на стол каждому руководителю! / Ю. Н. Лапыгин. – Москва : Эксмо, 2008. – ISBN 978-5-699-23510-0. – EDN QWRDOR.

60. Лебедев, С. А. Гносеологическая специфика технических и технологических наук / С. А. Лебедев, Н. М. Твердынин // Вестник Московского университета. Серия 7: Философия. – 2008. – № 2. – С. 44–70. – EDN JVGUHL.

61. Ловкис, З. В. Перспективные направления обогащения пищевых продуктов / З. В. Ловкис, Э. К. Капитонова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – № 4 (18). – С. 3–7. – EDN VDVEIQ.

62. Мазо, В. К. Физиолого-биохимические исследования как необходимый компонент алгоритма оценки эффективности минорных биологически активных

веществ пищи / В. К. Мазо, Ю. С. Сидорова, Н. А. Петров, Л. С. Василевская. – DOI 10.24411/0042-8833-2020-10041 // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 52–59. – EDN WXLKAJ.

63. Малая советская энциклопедия : в 11 т. / гл. ред. Н. Л. Мещеряков. – 2-е изд. – Москва : ОГИЗ РСФСР, 1933–1947.

64. Масложировой сегмент / Группа компаний «Русагро». – URL: <https://ar2021.rusagrogroupp.ru/ru/ar/results-overview/oil-fats> (дата обращения: 15.01.2024).

65. Матвеевко, В. Н. Структурное обоснование неньютоновского течения / В. Н. Матвеевко, Е. А. Кирсанов // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2017. – Т. 58, № 2. – С. 59–82. – EDN YFMMPB.

66. Маюрникова, Л. А. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности / Л. А. Маюрникова, А. А. Кокшаров, Т. В. Крапива [и др.]. – DOI 10.21603/2074-9414-2020-1-124-139 // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 124–139. – EDN NPHEOS.

67. Меньшутина, Н. В. Разработка и моделирование технологии непрерывной распылительной сушки пробиотиков / Н. В. Меньшутина, М. Г. Гордиенко, А. А. Аванесова, Ю. В. Маковская // Вестник МИТХТ им. М. В. Ломоносова. – 2008. – Т. 3, № 6. – С. 45–50. – EDN KWSXTH.

68. Методология // Большая советская энциклопедия : в 66 т. / гл. ред. О. Ю. Шмидт. – Москва : Советская энциклопедия, 1926–1947.

69. Методология общая // Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. – 2-е изд., вновь перераб. и значит. доп. – Т. 1–2. – СПб., 1907–1909.

70. Милеенкова, Е. В. Влияние низкотемпературной тепловой обработки на изменение содержания витаминов и минеральных веществ в мясопродуктах / Е. В. Милеенкова, А. А. Мотовилина, Е. К. Туниева, В. В. Насонова. – DOI 10.37861/2618-8252-2022-08-28-31 // Мясная индустрия. – 2022. – № 8. – С. 28–31. – EDN MAXPFB.

71. Морозкина Т. С. Витамины: краткое руководство для врачей и студентов медицинских, фармацевтических и биологических специальностей / Т. С. Морозкина, А. Г. Мойсеёнок. – Минск : Асар, 2002. – 112 с. – ISBN 985-6572-55-X.

72. Мурашова, Н. М. Мицеллы, микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллы как перспективные функциональные наноматериалы / Н. М. Мурашова, М. Ю. Купцова // Химическая промышленность сегодня. – 2019. – № 6. – С. 64–69. – EDN VITDVC.

73. Мякинъков, А. Г. Липосомы в пищевой промышленности: перспективы использования / А. Г. Мякинъков // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2001. – № 2. – С. 764. – EDN FNYZUR.

74. Недостаточность витамина D у детей и подростков Российской Федерации: современные подходы к коррекции : национальная программа / ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ФГАУ НМИЦЗД Минздрава России, ФГБОУ ДПО РМАПО Минздрава России ; под патронажем Союза педиатров России. – Москва : ПедиатрЪ, 2018. – 96 с. – ISBN 978-5-9500710-6-5.

75. Никитина, М. А. Многокритериальная оптимизация рецептурного состава продукта / М. А. Никитина, И. М. Чернуха. – DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98 // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3, № 3. – С. 89–98. – EDN XZTKТВ.

76. Николаева, М. А. Инновационные подходы к классификации продовольственных товаров / М. А. Николаева // Товаровед продовольственных товаров. – 2017. – № 4. – С. 40–46. – EDN YLKWDJ.

77. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. – Москва, 2021. – URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979 (дата обращения: 02.04.2023).

78. О ситуации на российском рынке маргарина: производство, рентабельность, динамика цен / Экспертно-аналитический центр агробизнеса. – URL: <https://ab-centre.ru/news/o-situacii-na-rossiyskom-rynke-margarina-proizvodstvo-rentabelnost-dinamika-cen> (дата обращения: 15.01.2024).

79. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 г. : государственный доклад. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с. – ISBN 978-5-7508-2132-7.

80. Орешко, Л. С. Анемические проявления при синдроме мальабсорбции и их коррекция / Л. С. Орешко, Е. А. Соловьева // Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. – 2016. – № 1–2. – С. 2–5. – EDN YJVBVJZ.

81. Основные этапы оценки эффективности специализированных пищевых продуктов / И. В. Глазкова, В. А. Саркисян, Ю. С. Сидорова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2017. – № 12. – С. 8–11. – EDN YLSQSF.

82. Парфенов, А. И. Нарушения обмена веществ, связанные с мальабсорбцией витаминов / А. И. Парфенов, Н. А. Бодунова // Фарматека. – 2014. – № 6 (279). – С. 55–59. – EDN SBDXKJ.

83. Патент № 2416342 Российская Федерация, МПК A23L 1/24, A23L 1/30. Способ получения биосоуса : № 2009147594/10 : заявл. 21.12.2009 : опубл. 20.04.2011 / А. В. Казаков, О. В. Феофилактова. – EDN ZKZNMР.

84. Пилипенко, В. И. Перспективы обогащения продуктов пищевыми волокнами для лечения и профилактики болезней органов пищеварения / В. И. Пилипенко, И. Б. Перова, А. А. Кочеткова, В. А. Исаков. – DOI 10.26442/00403660.2023.08.202328 // Терапевтический архив. – 2023. – Т. 95, № 8. – С. 701–705. – EDN UIFBJU.

85. Пискарев, И. М. Инициирование и исследование свободно-радикальных процессов в биологических экспериментах / И. М. Пискарев, И. П. Иванова, А. Г. Самоделкин, М. Н. Иващенко. – Нижний Новгород : НГСХА, 2016. – 106 с. – ISBN 978-5-903180-99-8. – EDN VYVZMV.

86. Питание / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – URL: <https://www.fao.org/nutrition/ru/> (дата обращения: 01.04.2023).

87. Питание и продовольственные системы / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – URL: <https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/nutrition-food-systems/ru/> (дата обращения: 01.04.2023).

88. Подгорнова, Н. М. Применение инкапсуляции для сохранения свойств купажа растительных масел / Н. М. Подгорнова, А. А. Грунина. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-1-5 // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 1. – С. 39–45. – EDN RIIPL.

89. Покровский, А. А. Роль биохимии в развитии науки о питании. Некоторые закономерности ассимиляции пищевых веществ на уровне клетке и целостного организма / А. А. Покровский. – Москва : Наука, 1974. – 127 с.

90. Попова, А. Ю. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации / А. Ю. Попова, В. А. Тутельян, Д. Б. Никитюк. – DOI 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19 // Вопросы питания. – 2021. – Т. 90, № 4 (536). – С. 6–19. – EDN VSSZQJ.

91. Потороко, И. Ю. Биоактивность эмульсий Пикеринга в пищевой матрице: теория и практика / И. Ю. Потороко, А. В. Паймулина. – DOI 10.14529/food230104 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 35–45. – EDN KSOLWG.

92. Потороко, И. Ю. Молекулярный докинг растительных стабилизирующих частиц для функциональных эмульсионных пищевых систем / И. Ю. Потороко, А. М. Я. Кади, В. Анйум, А. А. Руськина. – DOI 10.29141/2500-1922-2023-8-2-9 // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 84–92. – EDN PGLDTN.

93. Потороко, И. Ю. Формирование потребительских свойств хлебобулочных изделий с использованием пищевых ингредиентов растительного происхождения : монография / И. Ю. Потороко, И. В. Калинина, Н. В. Науменко. – Челябинск : ЮУрГУ, 2019. – 171 с. – ISBN 978-5-696-05047-8. – EDN XCCHMB.

94. Потороко, И. Ю. Фортификация эмульсий, стабилизированных аутентичным биоактивным комплексом, в сложную гетерогенную пищевую матрицу / И. Ю. Потороко, А. М. Я. Кади, А. А. Руськина [и др.]. – DOI 10.29141/2500-1922-

2023-8-4-12 // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 119–127. – EDN YDWTRY.

95. Прянишников, А. И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье : монография / А. И. Прянишников. – Москва : РАН, 2018. – 96 с. – ISBN 978-5-906906-87-8. – EDN UVHAAQ.

96. Российский рынок маргарина: рост производства и экспорта / Бизнес пищевых ингредиентов online. – URL: <http://www.bfi-online.ru/aviews/index.html?msg=9302&kk=> (дата обращения: 15.01.2024).

97. Салманова, Д. А. Исследование стабильности молочных систем, восстановленных с использованием кавитационной дезинтеграции / Д. А. Салманова, А. А. Брачихин, И. А. Евдокимов, А. А. Блинова. – DOI 10.37493/2307-910X.2023.2.10 // Современная наука и инновации. – 2023. – № 2 (42). – С. 102–113. – EDN JZGVOQ.

98. Самофалова, Н. Е. История развития селекционных работ по созданию озимой твердой пшеницы: итоги, проблемы, перспективы / Н. Е. Самофалова, Н. П. Иличкина, О. А. Дубинина [и др.]. – DOI 10.31367/2079-8725-2020-72-6-10-18 // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 6 (72). – С. 10–18. – EDN XMNGXP.

99. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661916 Российская Федерация. Компьютерная программа проектирования оптимального соотношения полиненасыщенных жирных кислот жировой основы : № 2021660827 : заявл. 08.07.2021 : опубл. 19.07.2021 / О. В. Феофилактова, Д. В. Гращенко. – EDN JMXNIX.

100. Семкина, О. А. Перспективы получения микрокапсулированных лекарственных средств на основе растительных экстрактов (обзор) / О. А. Семкина, О. М. Белошапкина, М. А. Джавахян. – DOI 10.30906/0023-1134-2024-58-1-35-41 // Химико-фармацевтический журнал. – 2024. – Т. 58, № 1. – С. 35–41. – EDN HGDIES.

101. Сергеев, В. Н. Роль лечебно-профилактического питания на санаторно-курортном этапе реабилитации / В. Н. Сергеев // Russian journal of rehabilitation medicine. – 2019. – № 1. – С. 28–46. – EDN ZFBEHJ.

102. Симаков, А. В. Урожайность и качество семенных клубней сортов картофеля в условиях Западной Сибири : монография / А. В. Симаков, Ю. П. Логинов, Т. В. Симакова. – Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2023. – 154 с. – ISBN 978-5-98346-118-5. – EDN VEDWAP.

103. Советский энциклопедический словарь: около 80 000 слов / гл. ред. А. М. Прохоров. – 2-е изд. – Москва : Советская энциклопедия, 1983. – 1599 с.

104. Солодовник, В. Д. Микрокапсулирование / В. Д. Солодовник. – Москва : Химия, 1980. – 216 с.

105. Сорокин, О. Д. Прикладная статистика на компьютере / О. Д. Сорокин. – Краснообск : ГУП РПО СО РАСХН, 2004. – 162 с.

106. Спецификации: аналитические методики и критерии приемлемости для биотехнологических/биологических препаратов (ICH Q6B). Перевод: PharmAdvisor, версия перевода от 30.11.2020. – URL: <https://pharmadvisor.ru/document/tr3527/> (дата обращения: 05.04.2022).

107. Спиричев, В. Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами : монография / В. Б. Спиричев, Л. Н. Шатнюк, В. М. Позняковский. – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2005. – 548 с. – ISBN 5-94087-419-3. – EDN SUPQIR.

108. Спиричева, Т. В. Функциональные продукты как фактор сохранения здоровья работников предприятий с вредными условиями труда / Т. В. Спиричева, В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская [и др.] // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84, № S3. – С. 164. – EDN XCFACH.

109. Суплотова, Л. А. Оценка потребления йода с йодированной солью в организованном питании детей дошкольного и школьного возраста в Тюменской области / Л. А. Суплотова, Г. А. Герасимов, Е. А. Трошина [и др.]. – DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-4-29-37 // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 4 (548). – С. 29–37. – EDN MYGMQE.

110. Сычева, О. В. Обогащение – путь к созданию нового поколения пищевых продуктов / О. В. Сычева, В. Г. Кайшев. – DOI 10.33920/igt-01-2010-05 // Товаровед продовольственных товаров. – 2020. – № 10. – С. 36–40. – EDN PAGCHF.

111. Табакаев, А. В. Математическое моделирование экстракции каротиноидов из бурой водоросли *S. miyabei* / А. В. Табакаев, О. В. Табакаева, Ю. В. Приходько. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-3-6 // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 50–58. – EDN WKWENU.

112. Терещук, Л. В. Изучение физико-химических показателей эмульгаторов и их влияния на процесс образования пищевых эмульсий / Л. В. Терещук, К. А. Загородников, К. В. Старовойтова, П. А. Вьюшинский. – DOI 10.21603/2074-9414-2021-4-915-929 // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 4. – С. 915–929. – EDN BYDRAR.

113. Терещук, Л. В. Растительные масла в качестве функциональных ингредиентов эмульсионных продуктов / Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова, И. В. Долголюк, М. А. Тарлюн // Масложировая промышленность. – 2015. – № 2. – С. 20–23. – EDN UNAWQX.

114. Тутельян, В. А. Современные вызовы пищевой индустрии: роль пищевых микроингредиентов / В. А. Тутельян, Е. А. Смирнова // Пищевые ингредиенты в продуктах питания: от науки к технологиям : монография / под ред. В. А. Тутельяна [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : МГУПП, 2021. – С. 15–44. – EDN RQEF CG.

115. Тыртышная, А. А. Механизмы влияния докозагексаеновой кислоты на когнитивные функции при нейровоспалении / А. А. Тыртышная // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 5-2. – С. 809–812. – EDN TNYYAT.

116. Ушаков, Д. Н. Большой толковый словарь современного русского языка / Д. Н. Ушаков. – Москва, 2008. – С. 452.

117. ФГБУ «Центр агроаналитики». – URL: <https://specagro.ru> (дата обращения: 18.01.2024).

118. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 18.01.2024).

119. Феофилактова, О. В. Анализ динамики микробиологических показателей эмульсионных пищевых систем в процессе хранения / О. В. Феофилактова,

Г. П. Чекрыга, Н. В. Заворохина. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-1-178-184 // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 1 (190). – С. 178–184. – EDN DDKСОК.

120. Феофилактова, О. В. Исследование сохраняемости БАВ, инкапсулированных в эмульсионные пищевые системы / О. В. Феофилактова. – DOI 10.21603/I-IC-137 // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий : сб. материалов I Междунар. конгресса (Кемерово, 28–30 ноября 2022 г.). – Кемерово : КемГУ, 2022. – С. 448–451. – EDN НТКYLВ.

121. Феофилактова, О. В. Коктейли на основе молочной сыворотки с инкапсулированным витамином С / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.31515/

1019-8946-2021-12-38-40 // Молочная промышленность. – 2021. – № 12. – С. 38–40. – EDN GAEGOO.

122. Феофилактова, О. В. Моделирование аналога молока на растительной основе с повышенной пищевой ценностью / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.24412/2311-6447-2022-4-31-38 // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 4. – С. 31–38. – EDN KVFZWE.

123. Феофилактова, О. В. Научные и практические аспекты разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем / О. В. Феофилактова. – Курск : Университетская книга, 2024. – 230 с. – ISBN 978-5-907916-12-8. – EDN ANOQOY.

124. Феофилактова, О. В. Оценка биодоступности БАВ в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем / О. В. Феофилактова, Т. В. Мажаева, С. В. Бегичева, Н. В. Заворохина. – DOI 10.14529/food240206 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 48–57. – EDN HFLNMB.

125. Феофилактова, О. В. Получение стабильных эмульсионных систем / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина, В. В. Лабеецкий. – DOI 10.29141/2500-1922-2021-6-3-9 // Индустрия питания. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 76–83. – EDN SXJZUE.

126. Феофилактова, О. В. Понятие и классификация эмульсионных пищевых систем / О. В. Феофилактова // Промышленность и сельское хозяйство. – 2023. – № 11 (64). – С. 46–50. – EDN IEGDRO.

127. Феофилактова, О. В. Практические аспекты применения эмульгаторов в производстве эмульсионных пищевых продуктов / О. В. Феофилактова, В. В. Лабеецкий // Вестник биотехнологии. – 2022. – № 1 (30). – Ст. 10. – EDN FZGKIN.

128. Феофилактова, О. В. Применение ASLT метода в исследовании сроков годности пищевых систем / О. В. Феофилактова // Пищевые технологии : сб. тез. III Междунар. симпозиума (Кемерово, 20–21 сентября 2024 г.). – Кемерово : КемГУ, 2024. – С. 417–420. – EDN DKBAWU.

129. Феофилактова, О. В. Проектирование функциональной жировой основы для эмульсионных пищевых продуктов / О. В. Феофилактова // Пищевые здоровьесберегающие технологии : сб. тез. II Междунар. симпозиума, посвященного 50-летию КемГУ (Кемерово, 2–3 ноября 2023 г.). – Кемерово : КемГУ, 2023. – С. 544–547. – EDN CJKOCX.

130. Феофилактова, О. В. Разработка жировой основы для эмульсионных пищевых продуктов функциональной направленности / О. В. Феофилактова, Д. В. Гращенко // Пища. Экология. Качество : труды XVII Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 18–19 ноября 2020 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2020. – С. 690–693. – EDN ODWUKL.

131. Феофилактова, О. В. Разработка эмульсионных соусов, оптимизированных по составу ПНЖК / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина. – DOI 10.14529/food220410 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 100–108. – EDN TZUBCA.

132. Феофилактова, О. В. Системный подход к моделированию эмульсионных функциональных пищевых продуктов высокой биодоступности / О. В. Феофилактова. – DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-4-7 // Индустрия питания. – 2020. – Т. 5, № 4. – С. 45–51. – EDN VBUPUT.

133. Феофилактова, О. В. Формирование и оценка качества новых видов эмульсионных соусов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Феофилактова Ольга Владимировна. – Кемерово, 2011. – 137 с. – EDN QFGRPZ.

134. Химический состав пищевых продуктов: справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. А. А. Покровского. – Москва : Пищевая промышленность, 1976. – 228 с.

135. Хмелев, В. Н. Выявление оптимальных режимов и условий ультразвуковой кавитационной обработки высоковязких жидкостей / В. Н. Хмелев, Р. Н. Голых, С. С. Хмелев, К. А. Карзакова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 249–251. – EDN PZGFRV.

136. Храмцов, А. Г. Вопросы реализации наилучших доступных технологий в пищевой промышленности / А. Г. Храмцов, А. А. Борисенко, А. А. Брацихин [и др.]. – DOI 10.26297/0579-3009.2020.2-3.2 // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 2–3 (374–375). – С. 8–13. – EDN TRNEFU.

137. Цымбалов, А. С. Влияние поверхностно-активных веществ на диспергирование и стабильность водомасляных эмульсий / А. С. Цымбалов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – № 3 (55). – С. 108–119. – EDN YLVEWD.

138. Шендеров, Б. А. Медицинская микробная экология и функциональное питание : в 3 т. / Б. А. Шендеров. – Москва : Грантъ, 2001. – Т. 3: Пробиотики и функциональное питание. Биопленка. Кожа и слизистые. Иммунные механизмы. – 287 с. – ISBN 5-89135-177-3.

139. Ших, Е. В. Пероральное применение цианокобаламина при функциональном дефиците витамина В12: эффективность и безопасность / Е. В. Ших, Ж. М. Сизова, М. О. Астаева. – DOI 10.14412/2074-2711-2021-4-109-115 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 109–115. – EDN MEXJCSQ.

140. Ших, Е. В. Социальный джетлаг: возможности микронутриентной поддержки / Е. В. Ших, А. А. Махова, Н. В. Ших, Е. Ю. Никитин. – DOI 10.33029/

0042-8833-2022-91-3-85-95 // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91, № 3 (541). – С. 85–95. – EDN DZPOTU.

141. Школьников, М. Н. Оценка биодоступности флавоноидов с помощью теста «Растворение» / М. Н. Школьников, Е. В. Воронова. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-6-194-203 // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 6 (183). – С. 194–203. – EDN EEJGFV.

142. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 444 с. – ISBN 978-5-534-01191-3.

143. Эльпинер, И. Е. Ультразвук: физико-химическое и биологическое действие / И. Е. Эльпинер. – Москва : Физматгиз, 1963. – 420 с.

144. Ядов, В. А. Стратегия социологического исследования / В. А. Ядов. – Москва, 2001. – С. 53–54.

145. Якоб, М. Практика нанесения покрытий в псевдооживленном слое – целенаправленное воздействие на свойства твердых веществ / М. Якоб, К. Майер // Фармацевтическая отрасль. – 2020. – № 3. – С. 62–69.

146. Abismail, B. Emulsification by ultrasound: drop size distribution and stability / B. Abismail, A. Canselier, M. Wilhelm [et al.]. – DOI 10.1016/s1350-4177(98)00027-3 // Ultrasonics sonochemistry. – 1999. – Vol. 6, iss. 1–2. – P. 75–83.

147. Abismail, B. Emulsification processes: on-line study by multiple light scattering measurements / B. Abismaïl, J. P. Canselier, A. M. Wilhelm [et al.]. – DOI 10.1016/s1350-4177(00)00040-7 // Ultrasonics sonochemistry. – 2000. – Vol. 7, iss. 4. – P. 187–192.

148. Acosta, E. Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery / E. Acosta. – DOI 10.1016/j.cocis.2008.01.002 // Current opinion in colloid and interface science. – 2009. – Vol. 14, iss. 1. – P. 3–15.

149. Adil, M. Pickering nanoemulsions and their mechanisms in enhancing oil recovery: a comprehensive review / M. Adil, S. A. Onaizi. – DOI 10.1016/j.fuel.2022.123667 // Fuel. – 2022. – Vol. 319. – Art. 123667.

150. Afshin, A. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 / A. Afshin, P. J. Sur, K. A. Fay [et al.]. – DOI 10.1016/S0140-6736(19)30041-8 // *The Lancet*. – 2019. – Vol. 393, iss. 10184. – P. 1958–1972.

151. Akbarzadeh, A. Liposome: classification, preparation, and applications / A. Akbarzadeh, R. Rezaei-Sadabady, S. Davaran [et al.]. – DOI 10.1186/1556-276X-8-102 // *Nanoscale Research Letters*. – 2013. – Vol. 8, iss. 1. – Art. 102.

152. Alegria, A. E. Sonolysis of aqueous surfactant solutions. probing the interfacial region of cavitation bubbles by spin trapping / A. E. Alegria, Y. Lion, T. Kondo, P. J. Riesz. – DOI 10.1021/j100349a046 // *Journal of physical chemistry*. – 1989. – Vol. 93, iss. 12. – P. 4908–4913.

153. Alzorqi, I. Optimization of ultrasound induced emulsification on the formulation of palm-olein based nanoemulsions for the incorporation of antioxidant β -D-glucan polysaccharides / I. Alzorqi, M. R. Ketabchi, S. Sudheer, S. Manickam. – DOI 10.1016/j.ultrasonch.2015.12.004 // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2016. – Vol. 31. – P. 71–84.

154. Ancheta, A. K. G. Accelerated shelf-life test (ASLT) of batuan [*Garcinia binucao* (Blanco) Choisy] fruit powder / A. K. G. Ancheta, K. F. Yaptenco, L. E. Mopera [et al.]. – DOI 10.26656/fr.2017.4(4).018 // *Food research*. – 2020. – Vol. 4. – P. 1254–1264.

155. Arab-Tehrany, E. Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids / E. Arab-Tehrany, M. Jacquot, C. Gaiani [et al.]. – DOI 10.1016/j.tifs.2011.12.002 // *Trends in Food Science & Technology*. – 2012. – Vol. 25, iss. 1. – P. 24–33.

156. Araiza-Calahorra, A. Recent advances in emulsion-based delivery approaches for curcumin: from encapsulation to bioaccessibility / A. Araiza-Calahorra, M. Akhtar, A. Sarkar. – DOI 10.1016/j.tifs.2017.11.009 // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – Vol. 71. – P. 155–169.

157. Aserin, A. Multiple emulsion: technology and applications / A. Aserin. – Hoboken : Wiley Interscience, 2008. – 352 p. – ISBN 978-0-470-20925-7.

158. Augustin, M. A. Effects of microencapsulation on the gastrointestinal transit and tissue distribution of a bioactive mixture of fish oil, tributyrin and resveratrol / M. A. Augustin, M. Y. Abeywardena, G. Patten [et al.]. – DOI 10.1016/j.jff.2011.01.003 // *Journal of functional foods*. – 2011. – Vol. 3, iss. 1. – P. 25–37.

159. Azcón, R. Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration / R. Azcón, E. Ambrosano, C. Charest. – DOI 10.1016/S0168-9452(03)00322-4 // *Plant science*. – 2003. – Vol. 165, iss. 5. – P. 1137–1145.

160. Barański, M. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses / M. Barański, D. Srednicka-Tober, N. Volakakis [et al.]. – DOI 10.1017/S0007114514001366 // *The British journal of nutrition*. – 2014. – Vol. 112, iss. 5. – P. 794–811.

161. Bargagli, M. The role of diet in bone and mineral metabolism and secondary hyperparathyroidism / M. Bargagli, M. Arena, A. Naticchia [et al.]. – DOI 10.3390/nu13072328 // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, iss. 7. – Art. 2328.

162. Benbrook, C. Methodologic flaws in selecting studies and comparing nutrient concentrations led Dangour et al to miss the emerging forest amid the trees / C. Benbrook, D. R. Davis, P. K. Andrews. – DOI 10.3945/ajcn.2009.28605 // *The American journal of clinical nutrition*. – 2009. – Vol. 90, iss. 6. – P. 1700–1701.

163. Benjamin, O. Multilayer emulsions as delivery systems for controlled release of volatile compounds using pH and salt triggers / O. Benjamin, P. Silcock, M. Leus, D. W. Everett. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2011.08.008 // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 27, iss. 1. – P. 109–118.

164. Bermúdez-Aguirre, D. Fortification of queso fresco, cheddar and mozzarella cheese using selected sources of omega-3 and some nonthermal approaches / D. Bermúdez-Aguirre, G. V. Barbosa-Cánovas. – DOI 10.1016/j.foodchem.2012.01.093 // *Food chemistry*. – 2012. – Vol. 133, iss. 3. – P. 787–797.

165. Bermúdez-Aguirre, D. Quality of selected cheeses fortified with vegetable and animal sources of omega-3 / D. Bermúdez-Aguirre, G. V. Barbosa-Cánovas. – DOI

10.1016/j.lwt.2011.01.023 // LWT – Food science and technology. – 2011. – Vol. 44, iss. 7. – P. 1577–1584.

166. Bhagwat, S. Food fortification as a complementary strategy for the elimination of micronutrient deficiencies: case studies of large scale food fortification in two Indian States / S. Bhagwat, D. Gulati, R. Sachdeva, R. Sankar. – DOI 10.6133/apjcn.2014.23.s1.04 // Asia Pacific journal of clinical nutrition. – 2014. – Vol. 23, suppl. 1. – P. S4–S11.

167. Boonyaves, K. NOD promoter-controlled AtIRT1 expression functions synergistically with NAS and FERRITIN genes to increase iron in rice grains / K. Boonyaves, W. Gruissem, N. K. Bhullar. – DOI 10.1007/s11103-015-0404-0 // Plant molecular biology. – 2016. – Vol. 90, iss. 3. – P. 207–215.

168. Bouzari, A. Mineral, fiber, and total phenolic retention in eight fruits and vegetables: a comparison of refrigerated and frozen storage / A. Bouzari, D. Holstege, D. M. Barrett. – DOI 10.1021/jf504890k // Journal of agricultural and food chemistry. – 2015. – Vol. 63, iss. 3. – P. 951–956.

169. Brayner, B. FADS polymorphism, omega-3 fatty acids and diabetes risk: a systematic review / B. Brayner, G. Kaur, M. A. Keske, K. M. Livingstone. – DOI 10.3390/nu10060758 // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, iss. 6. – Art. 758.

170. Canselier, J. Ultrasound emulsification – an overview / J. Jean, H. Delmas, A. M. Wilhelm, B. Abismail. – DOI 10.1080/01932690208984209 // Journal of dispersion science and technology. – 2002. – Vol. 23, iss. 1–3. – P. 333–349.

171. Carbonell-Capella, J. M. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: a review / J. M. Carbonell-Capella, M. Buniowska, F. J. Barba [et al.]. – DOI 10.1111/1541-4337.12049 // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2014. – Vol. 13. – P. 155–171.

172. Carli, P. Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality / P. Carli, A. Barone, V. Fogliano [et al.]. – DOI 10.1186/1471-2229-11-58 // BMC Plant Biology. – 2004. – Vol. 11. – Art. 58.

173. Carpenter, J. Ultrasonic assisted formation and stability of mustard oil in water nanoemulsion: effect of process parameters and their optimization / J. Carpenter, V. K. Saharan. – DOI 10.1016/j.ultsonch.2016.10.021 // Ultrasonics sonochemistry. – 2017. – Vol. 35, pt. A. – P. 422–430.

174. Cassani, L. Technological strategies ensuring the safe arrival of beneficial microorganisms to the gut: from food processing and storage to their passage through the gastrointestinal tract / L. Cassani, A. Gomez-Zavaglia, J. Simal-Gandara. – DOI 10.1016/j.foodres.2019.108852 // Food research international. – 2020. – Vol. 129. – Art. 108852.

175. Chandrapala, J. Ultrasonics in food processing / J. Chandrapala, C. Oliver, S. Kentish, M. Ashokkumar. – DOI 10.1016/j.ultsonch.2012.01.010 // Ultrasonics Sonochemistry. – 2012. – Vol. 19, iss. 5. – P. 975–983.

176. Chawda, P. J. Co-encapsulation of bioactives for food applications / P. J. Chawda, J. Shi, S. Xue, S. Young Quek. – DOI 10.1093/fqsafe/fyx028 // Food quality and safety. – 2017. – Vol. 1, iss. 4. – P. 302–309.

177. Chen, C. C. Efficiency and protective effect of encapsulation of milk immunoglobulin G in multiple emulsion / C. C. Chen, Y. Y. Tu, H. M. Chang. – DOI 10.1021/jf9809075 // Journal of agricultural and food chemistry. – 1999. – Vol. 47. – P. 407–410.

178. Chen, J. Encapsulation of carotenoids in emulsion-based delivery systems: enhancement of β -carotene water-dispersibility and chemical stability / J. Chen, F. Li, Z. Li [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2017.01.024 // Food hydrocolloids. – 2017. – Vol. 69. – P. 49–55.

179. Cheong, A. M. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil-in-water Pickering nanoemulsions stabilised by mixture of sodium caseinate, Tween 20 and β -cyclodextrin / A. M. Cheong, K. W. Tan, C. P. Tan, K. L. Nyam. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2015.09.005 // Food Hydrocolloids. – 2016. – Vol. 52. – P. 934–941.

180. Chettry, U. A multifocal approach towards understanding the complexities of carotenoid biosynthesis and accumulation in rice grains / U. Chettry, N. K. Chrungoo. – DOI 10.1093/bfgp/elaa007 // Briefings in functional genomics. – 2020. – Vol. 19, iss. 4. – P. 324–335.

181. Cho, Y.-H. Evaluation of process parameters in the O/W/O multiple emulsion method for flavor encapsulation / Y.-H. Cho, J. Park. – DOI 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05707.x // Journal of food science. – 2003. – Vol. 68, iss. 2. – P. 534–538.

182. Choi, S. J. Nanoemulsions as delivery systems for lipophilic nutraceuticals: strategies for improving their formulation, stability, functionality and bioavailability / S. J. Choi, D. J. McClements. – DOI 10.1007/s10068-019-00731-4 // Food science and biotechnology. – 2020. – Vol. 29. – P. 149–168.

183. Clark, R. Malabsorption syndromes / R. Clark, R. Johnson. – DOI 10.1016/j.cnur.2018.05.001 // The nursing clinics of North America. – 2018. – Vol. 53, iss. 3. – P. 361–374.

184. Codex Alimentarius. General Principles for the Addition of Essential Nutrients to Foods CAC/GL 09-1987 (adopted in 1987; amendment 1989 and 1991, revision: 2015). – URL: https://www.fao.org/input/download/report/710/al32_26e.pdf (дата обращения: 15.04.2023).

185. Coradello, G. Yeast cells in microencapsulation. General features and controlling factors of the encapsulation process / G. Coradello, N. Tirelli. – DOI 10.3390/molecules26113123 // Molecules. – 2021. – Vol. 26, iss. 11. – Art. 3123.

186. Cui, F. Co-delivery of curcumin and epigallocatechin gallate in W/O/W emulsions stabilized by protein fibril-cellulose complexes / F. Cui, S. Han, J. Wang [et al.]. – DOI 10.1016/j.colsurfb.2022.113072 // Colloids and surfaces B: Biointerfaces. – 2023. – Vol. 222. – Art. 113072.

187. Cui, F. Recent advances in shelf life prediction models for monitoring food quality / F. Cui, S. Zheng, D. Wang [et al.]. – DOI 10.1111/1541-4337.13110 // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2023. – Vol. 22, iss. 2. – P. 1257–1284.

188. Cunningham, J. H. Minerals in Australian fruits and vegetables – a comparison of levels between the 1980s and 2000 / J. H. Cunningham, G. Milligan, L. Trevisan. – Canberra : Food Standards Australia New Zealand, 2001. – URL: https://www.food-standards.gov.au/sites/default/files/publications/Documents/minerals_report.pdf (дата обращения: 18.03.2023).

189. Curtis, J. M. The determination of n-3 fatty acid levels in food products containing microencapsulated fish oil using the one-step extraction method. Part 1: Measurement in the raw ingredient and in dry powdered foods / J. M. Curtis, N. Berrigan, P. Dauphinee. – DOI 10.1007/s11746-008-1194-1 // Journal of the American Oil chemists' society. – 2008. – Vol. 85. – P. 297–305.

190. Dai, C. High internal phase emulsions stabilized by pea protein isolate-EGCG-Fe³⁺ complexes: encapsulation of β -carotene / C. Dai, S. Han, C. Ma [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2023.109607 // Food hydrocolloids. – 2024. – Vol. 150. – Art. 109607.

191. Dardelle, G. Flavor encapsulation and flavor release performances of a commercial yeastbased delivery system / G. Dardelle, V. Normand, M. Steenhoudt [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2006.12.013 // Food hydrocolloids. – 2007. – Vol. 21, iss. 5–6. – P. 953–960.

192. Darnton-Hill, I. Fortification strategies to meet micronutrient needs: successes and failures / I. Darnton-Hill, R. Nalubola. – DOI 10.1079/pns2002150 // Proceedings of the Nutrition society. – 2002. – Vol. 61, iss. 2. – P. 231–241.

193. Davis, D. R. Changes in USDA food composition data for 43 garden crops 1950 to 1999 / D. R. Davis, M. D. Epp, H. D. Riordan. – DOI 10.1080/07315724.2004.10719409 // Journal of the American college of nutrition. – 2004. – Vol. 23, iss. 6. – P. 669–682.

194. Davis, D. R. Declining fruit and vegetable nutrient composition: what is the evidence? / D. R. Davis. – DOI 10.21273/HORTSCI.44.1.15 // HortScience. – 2009. – Vol. 44, iss. 1. – P. 15–19.

195. Davis, D. R. Impact of breeding and yield on fruit, vegetable, and grain nutrient content / D. R. Davis. – DOI 10.1002/9780470959350.ch6 // Breeding for fruit quality / eds. M. Jenks, P. Bebeli. – New York : Wiley-Blackwell, 2011. – P. 127–150.

196. Day, L. Incorporation of functional ingredients into foods / L. Day, R. Seymour, K. Pitts [et al.]. – DOI 10.1016/j.tifs.2008.05.002 // Trends in food science and technology. – 2009. – Vol. 20, iss. 9. – P. 388–395.

197. De Nobel, J. The glucanase-soluble mannoproteins limit cell wall porosity in *Saccharomyces cerevisiae* / J. De Nobel, F. Klis, J. Priem [et al.]. – DOI 10.1002/yea.320060606 // *Yeast*. – 1990. – Vol 6, iss. 6. – P. 491–499.

198. De Vos, P. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components / P. De Vos, M. M. Faas, M. Spasojevic, J. Sikkema. – DOI 10.1016/j.idairyj.2009.11.008 // *International dairy journal*. – 2010. – Vol. 20, iss. 4. – P. 292–302.

199. Detzel, P. Market-driven food fortification to address dietary needs / P. Detzel, P. Klassen-Wigger. – DOI 10.1159/000507522 // *World review of nutrition and dietetics*. – 2020. – Vol. 121. – P. 81–88.

200. Díaz-Ruiz, R. Addition of *trans*-resveratrol-loaded highly concentrated double emulsion to yoghurts: effect on physicochemical properties / R. Díaz-Ruiz, A. Laca, M. Sánchez [et al.]. – DOI 10.3390/ijms23010085 // *International journal of molecular sciences*. – 2021. – Vol. 23. – Art. 85.

201. Dietterich, L. Impacts of elevated atmospheric CO₂ on nutrient content of important food crops / L. Dietterich, A. Zanobetti, I. Kloog [et al.]. – DOI 10.1038/sdata.2015.36 // *Scientific data*. – 2015. – Vol. 2. – Art. 150036.

202. Dima, C. Bioaccessibility study of calcium and vitamin D₃ co-microencapsulated in water-in-oil-in-water double emulsions / C. Dima, S. Dima. – DOI 10.1016/j.foodchem.2019.125416 // *Food chemistry*. – 2020. – Vol. 303. – Art. 125416.

203. Domínguez-Pérez, L. A. Kinetic studies and moisture diffusivity during cocoa bean roasting / L. A. Domínguez-Pérez, I. Concepción-Brindis, L. M. Lagunes-Gálvez [et al.]. – DOI 10.3390/pr7100770 // *Processes*. – 2019. – Vol. 7, iss. 10. – Art. 770.

204. Đorđević, V. Encapsulation technologies for food industry / V. Đorđević, A. Paraskevopoulou, F. Mantzouridou [et al.]. – DOI 10.1007/978-3-319-24040-4_18 // *Emerging and traditional technologies for safe healthy and quality food* / eds. V. Nedovic [et al.]. – Cham : Springer, 2016. – P. 329–382.

205. Dos Reis, L. C. R. Effect of cooking on the concentration of bioactive compounds in broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. Alphina F1) grown in an organic system / L. C. R. Dos Reis, V. R. de Oliveira,

M. E. Hagen [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2014.09.124 // Food chemistry. – 2015. – Vol. 172. – P. 770–777.

206. Ekafitri, R. Shelf-life assessment of energy banana bar using acceleration method with critical moisture content approach / R. Ekafitri, Y.R. Kurniawan, D. Desnilasari [et al.]. – DOI 10.1590/fst.13120 // Food science and technology. – 2021. – Vol. 41, iss. 1. – P. 163–168. <https://doi.org/>.

207. Ekholm, P. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland / P. Ekholm, H. Reinivuo, P. Mattila [et al.]. – DOI 10.1016/j.jfca.2007.02.007 // Journal of food composition and analysis. – 2007. – Vol. 20, iss. 6. – P. 487–495.

208. Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing / eds. N. J. Zuidam, V. Nedovic. – New York : Springer, 2010. – 400 p. – ISBN 978-1-4419-1008-0. – DOI 10.1007/978-1-4419-1008-0.

209. Eriksson, J. W. Effects of dapagliflozin and n-3 carboxylic acids on non-alcoholic fatty liver disease in people with type 2 diabetes: a double-blind randomised placebo-controlled study / J. W. Eriksson, P. Lundkvist, P. A. Jansson [et al.]. – DOI 10.1007/s00125-018-4675-2 // Diabetologia. – 2018. – Vol. 61, iss. 9. – P. 1923–1934.

210. Erisman, J. W. Agriculture and biodiversity: a better balance benefits both / J. W. Erisman, N. Van Eekeren, C. Koopmans [et al.]. – DOI 10.3934/agrfood.2016.2.157 // AIMS Agriculture and Food. – 2016. – Vol. 1, iss. 2. – P. 157–174.

211. Erisman, J. W. Nature-based agriculture for an adequate human microbiome / J. W. Erisman. – DOI 10.1007/s13165-020-00304-4 // Organic agriculture. – 2021. – Vol. 11. – P. 225–230.

212. Estrada, J. D. Developing a strawberry yogurt fortified with marine fish oil / J. D. Estrada, C. Boeneke, P. Bechtel, S. Sathivel. – DOI 10.3168/jds.2011-4226 // Journal of dairy science. – 2011. – Vol. 94, iss. 12. – P. 5760–5769.

213. Ezhilarasi, P. N. Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review / P. N. Ezhilarasi, P. Karthik, N. Chhanwal, C. Anandharamakrishnan. – DOI 10.1007/s11947-012-0944-0 // Food and bioprocess technology. – 2013. – Vol. 6. – P. 628–647.

214. Fan, M. S. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years / M. S. Fan, F. J. Zhao, S. J. Fairweather-Tait [et al.]. – DOI 10.1016/j.jtemb.2008.07.002 // Journal of trace elements in medicine and biology. – 2008. – Vol. 22, iss. 4. – P. 315–324.

215. Fang, Z. Encapsulation of polyphenols – a review / Z. Fang, B. Bhandari. – DOI 10.1016/j.tifs.2010.08.003 // Trends in food science and technology. – 2010. – Vol. 21, iss. 10. – P. 510–523.

216. Farnham, M. Mineral concentration of broccoli florets in relation to year of cultivar release / M. Farnham, A. Keinath, M. Grusak. – DOI 10.2135/cropsci2010.09.0556 // Crop science. – 2011. – Vol. 51, iss. 6. – P. 2721–2727.

217. Fatemi, S. F. Implementing micronutrient fortification programs as a potential practical contribution to achieving sustainable diets / S. F. Fatemi, K. Irankhah, J. Kruger [et al.]. – DOI 10.1111/nbu.12630 // Nutrition bulletin. – 2023. – Vol. 48, iss. 3. – P. 411–424.

218. Federico, M. L. Modern breeding and biotechnological approaches to enhance carotenoid accumulation in seeds / M. L. Federico, M. A. Schmidt. – DOI 10.1007/978-3-319-39126-7_13 // Carotenoids in nature / ed. C. Stange. – Cham : Springer, 2016. – P. 345–358.

219. Feofilaktova, O. Creating a functional basis for the production of food emulsions / O. Feofilaktova, D. Grashchenkov, D. Karkh, M. Lukinykh. – DOI 10.1051/e3sconf/202017601015 // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 176. – Art. 01015. – EDN VLHECC.

220. Feofilaktova, O. Optimization of technological parameters for the stable base formation of emulsion food products / O. Feofilaktova, N. Zavorokhina, D. Karkh. – DOI 10.1063/5.0069259 // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2419, iss. 1. – Art. 020016.

221. Feofilaktova, O. V. Flavor formation of stable double emulsion systems with encapsulated biologically active substances / O. V. Feofilaktova, N. V. Zavorokhina. – DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-4-9 // Food Industry. – 2022. – Vol. 7, no. 4. – P. 74–82. – EDN RBQJWV.

222. Feofilaktova, O. V. Methodological approach to the bioactive emulsion food systems development / O. V. Feofilaktova. – DOI 10.29141/2500-1922-2024-9-1-4 // Food Industry. – 2024. – Vol. 9, No. 1. – P. 35–40. – EDN HQNRJJ.

223. Feofilaktova, O. V. Ultrasonic cavitation effect on the fatty acid composition of linseed oil-based emulsions / O. V. Feofilaktova, V. L. Feigelman, S. A. S. Aboushanab, E. G. Kovaleva. – DOI 10.14258/jcprm.20230311781 // Химия растительного сырья. – 2023. – № 3. – С. 311–316. – EDN BYBMZE.

224. Fernández-García, E. Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities / E. Fernández-García, I. Carvajal-Lérida, M. Jarrén-Galán [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodres.2011.06.007 // Food research international. – 2012. – Vol. 46, no. 2. – P. 438–450.

225. Food systems and diets: facing the challenges of the 21st century / Global panel on agriculture and food systems for nutrition. – London, 2016. – ISBN 978-0-9956228-0-7. – URL: <https://www.glopan.org/sites/default/files/ForesightReport.pdf> (дата обращения: 18.03.2023).

226. Franke, K. Influence of frying, baking and cooking on food bioactives / K. Franke, F. T. Djikeng, T. Esatbeyoglu. – DOI 10.1007/978-3-030-96885-4_3 // Retention of bioactives in food processing / eds. S. M. Jafari, E. Capanoglu. – Cham : Springer, 2022. – P. 93–121.

227. Freitas, S. Microencapsulation by solvent extraction/evaporation: reviewing the state of the art of microsphere preparation process technology / S. Freitas, H. P. Merkle, B. Gander. – DOI 10.1016/j.jconrel.2004.10.015 // Journal of controlled release. – 2005. – Vol. 102, iss. 2. – P. 313–332.

228. Gadkari, P. V. Delivery of green tea catechins through Oil-in-Water (O/W) nanoemulsion and assessment of storage stability / P. V. Gadkari, M. G. Shashidhar, M. Balaraman. – DOI 10.1016/j.jfoodeng.2016.12.009 // Journal of food engineering. – 2017. – Vol. 199. – P. 65–76.

229. Gallarate, M. On the stability of ascorbic acid in emulsified systems for topical and cosmetic use / M. Gallarate, M. E. Carlotti, M. Trotta, S. Bovo. – DOI 10.1016/

s0378-5173(99)00228-8 // International journal of pharmaceutics. – 1999. – Vol. 188. – P. 233–241.

230. Gallardo, G. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application / G. Gallardo, L. Guida, V. Martinez [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodres.2013.01.020 // Food research international. – 2013. – Vol. 52, iss. 2. – P. 473–482.

231. Garti, N. Double emulsions / N. Garti, R. Lutz // Encyclopedia of Surface and Colloid Science, vol. 3 / ed. P. Somasundaran. – 2nd edition. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – P. 1816–1845.

232. Genta, I. A multiple emulsion method to entrap a lipophilic compound into chitosan microspheres / I. Genta, B. Perugini, B. Conti, F. Pavanetto. – DOI 10.1016/S0378-5173(97)00096-3 // International journal of pharmaceutics. – 1997. – Vol. 152. – P. 237–246.

233. Gomes, L. M. M. Inclusion complexes of red bell pepper pigments with β -cyclodextrin: preparation, characterisation and application as natural colorant in yogurt / L. M. M. Gomes, N. Petito, V. G. Costa [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2013.11.139 // Food chemistry. – 2014. – Vol. 148. – P. 428–436.

234. Gosling, P. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi / P. Gosling, A. Ozaki, J. Jones [et al.]. – DOI 10.1016/j.agee.2010.08.013 // Agriculture, ecosystems and environment. – 2010. – Vol. 139, iss. 1–2. – P. 273–279.

235. Gouin, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends / S. Gouin. – DOI 10.1016/j.tifs.2003.10.005 // Trends in food science and technology. – 2004. – Vol. 15, iss. 7–8. – P. 330–347.

236. Grigoriev, D. O. New method for fabrication of loaded micro- and nanocontainers: emulsion encapsulation by polyelectrolyte layer-by-layer deposition on the liquid core / D. O. Grigoriev, T. Bukreeva, H. Möhwald, D. G. Shchukin. – DOI 10.1021/la702873f // Langmuir. – 2008. – Vol. 24, iss. 3. – P. 999–1004.

237. Guidelines on food fortification with micronutrients / eds. L. Allen, B. de Benoist, O. Dary [et al.]. – Geneva : WHO Press, 2006. – 376 p. – ISBN 92-4-159401-2.

238. Guo, Q. Improvement of stability and bioaccessibility of β -carotene by curcumin in pea protein isolate-based complexes-stabilized emulsions: effect of protein complexation by pectin and small molecular surfactants / Q. Guo, I. Bayram, X. Shu [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130726 // Food chemistry. – 2022. – Vol. 367. – Art. 130726.

239. Han, L. Co-delivery of insulin and quercetin in W/O/W double emulsions stabilized by different hydrophilic emulsifiers / L. Han, K. Lu, S. Zhou [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130918 // Food chemistry. – 2022. – Vol. 369. – Art. 130918.

240. Hartmann, M. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming / M. Hartmann, B. Frey, J. Mayer [et al.]. – DOI 10.1038/ismej.2014.210 // The ISME Journal. – 2015. – Vol. 9, iss. 5. – P. 1177–1194.

241. He, X. Element biofortification: can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? / X. He, K. Nara. – DOI 10.1016/j.tplants.2007.06.008 // Trends in plant science. – 2007. – Vol. 12, iss. 8. – P. 331–333.

242. Heinrich, E. The root of all disease / E. Heinrich. – 4th edition. – Tulsa : The Rockland Corp., 2000. – 84 p. – ISBN 1-56959-904-1.

243. Helgeson, M. E. Colloidal behavior of nanoemulsions: interactions, structure, and rheology / M. E. Helgeson. – DOI 10.1016/j.cocis.2016.06.006 // Current opinion in colloid and interface science. – 2016. – Vol. 25. – P. 39–50.

244. Hidayati, S. Predict the shelf life of instant colate in vacuum packing by using Accelerated Shelf Life Test (ASLT) / S. Hidayati, D. Sartika, S. Sutoyo, A. Fudholi. – DOI 10.18280/mmep.090220 // Mathematical modelling of engineering problems. – 2022. – Vol. 9, iss. 2. – P. 443–450.

245. Hodson, L. Docosahexaenoic acid enrichment in NAFLD is associated with improvements in hepatic metabolism and hepatic insulin sensitivity: a pilot study / L. Hodson, L. Bhatia, E. Scorletti [et al.]. – DOI 10.1038/ejcn.2017.9 // European journal of clinical nutrition. – 2017. – Vol. 71, iss. 8. – P. 973–997.

246. Huang, Z. Structural and interfacial properties of acetylated *Millettia speciosa* Champ polysaccharide and stability evaluation of the resultant O/W emulsion containing

β -carotene / Z. Huang, M.-H. Zong, J. Wang [et al.]. – DOI 10.1016/j.ijbiomac.2024.130556 // International journal of biological macromolecules. – 2024. – Vol. 264, pt. 1. – Art. 130556.

247. Hunter, D. Evaluation of the micronutrient composition of plant foods produced by organic and conventional agricultural methods / D. Hunter, M. Foster, J. McArthur [et al.]. – DOI 10.1080/10408391003721701 // Critical reviews in food science and nutrition. – 2011. – Vol. 51, iss. 6. – P. 571–582.

248. Hurrell, R. F. Fortification: overcoming technical and practical barriers / R. F. Hurrell. – DOI 10.1093/jn/132.4.806s // The journal of nutrition. – 2002. – Vol. 132, suppl. 4. – P. 806S–812S.

249. Ibrahim, O. Thermal and nonthermal food processing technologies for food preservation and their effects on food chemistry and nutritional values / O. Ibrahim // EC Nutrition. – 2020. – Vol. 15, iss. 7. – P. 88–105.

250. Ilyasoglu, H. Nanoencapsulation of EPA/DHA with sodium caseinate – gum arabic complex and its usage in the enrichment of fruit juice / H. Ilyasoglu, S. N. El. – DOI 10.1016/j.lwt.2013.12.002 // LWT – Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 56, iss. 2. – P. 461–468.

251. Jafari, S. M. Bioavailability and release of bioactive components from nanocapsules / S. M. Jafari, I. Katouzian, H. Rajabi, M. Ganje. – DOI 10.1016/B978-0-12-809436-5.00013-6 // Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries / ed. S. M. Jafari. – New York : Academic Press, 2017. – P. 494–523.

252. Jiao, J. Multiple emulsion stability: pressure balance and interfacial film strength / J. Jiao, D. G. Rhodes, D. J. Burgess. – DOI 10.1006/jcis.2002.8365 // Journal of colloid and interface science. – 2002. – Vol. 250, iss. 2. – P. 444–450.

253. Josquin, N. M. Quality characteristics of Dutch-style fermented sausages manufactured with partial replacement of pork back-fat with pure, pre-emulsified or encapsulated fish oil / N. M. Josquin, J. P. H. Linssen, J. H. Houben. – DOI 10.1016/j.meatsci.2011.06.001 // Meat Science. – 2012. – Vol. 90, iss. 1. – P. 81–86.

254. Kabakci, C. Encapsulation of magnesium with lentil flour by using double emulsion to produce magnesium enriched cakes / C. Kabakci, G. Sumnu, S. Sahin,

M. H. Oztop. – DOI 10.1007/s11947-021-02672-5 // Food and Bioprocess Technology. – 2021. – Vol. 14. – P. 1773–1790.

255. Kaushik, P. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: a review of microencapsulation and characterization methods / P. Kaushik, D. Kim, C. J. Barrow, B. Adhikari. – DOI 10.1016/j.jff.2014.06.029 // Journal of Functional Foods. – 2014. – Vol. 16, iss. 6. – P. 1206–1218.

256. Khmelev, V. N. Determination of ultrasonic effect mode providing formation of cavitation area in high-viscous and non-Newtonian liquids / V. N. Khmelev, R. N. Golykh, A. V. Shalunov [et al.]. – DOI 10.1109/EDM.2014.6882511 // 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – Novosibirsk : IEEE, 2014. – P. 203–207.

257. Kilcast, D. Effect of irradiation on vitamins / D. Kilcast // Food chemistry. – 1994. – Vol. 49, iss. 2. – P. 157–164.

258. Koroleva, M. Y. Nanoemulsions: the properties, methods of preparation and promising applications / M. Y. Koroleva, E. V. Yurtov. – DOI 10.1070/RC2012v081n01ABEH004219 // Russian Chemical Reviews. – 2012. – Vol. 81, iss. 1. – P. 21–43.

259. Krasulya, O. Sonochemical effects on food emulsions / O. Krasulya, V. Bogush, I. Potoroko [et al.]. – DOI 10.15159/AR.18.101 // Agronomy Research. – 2018. – Vol. 16, special issue 2. – P. 1396–1404. – EDN XQLVSE.

260. Krishna, C. M. Sonochemistry of aqueous solutions of amino acids and peptides. A spin trapping study / C. M. Krishna, T. Kondo, P. Riesz. – DOI 10.1016/1359-0197(88)90025-2 // International journal of radiation applications and instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry. – 1988. – Vol. 32, iss. 1. – P. 121–128.

261. Kumar, H. Ultrasonication assisted formation and stability of water-in-oil nanoemulsions: optimization and ternary diagram analysis / H. Kumar, V. Kumar. – DOI 10.1016/j.ultsonch.2018.07.022 // Ultrasonics sonochemistry. – 2018. – Vol. 49. – P. 79–88.

262. Kundu, P. Formation and stability of water-in-oil nano-emulsions with mixed surfactant using in-situ combined condensation-dispersion method / P. Kundu, K. Arora,

Y. Gu [et al.]. – DOI 10.1002/cjce.23481 // The Canadian journal of chemical engineering. – 2019. – Vol. 97, iss. 7. – P. 2039–2049.

263. Labuza, T. P. Theory and application of arrhenius kinetics to the predication of nutrient losses in foods / T. P. Labuza, D. Riboh // Food technology. – 1982. – Vol. 36, iss. 10. – P. 66–74.

264. Lairon, D. Nutritional quality and safety of organic food. A review / D. Lairon. – DOI 10.1051/agro/2009019 // Agronomy for sustainable development. – 2010. – Vol. 30. – P. 33–41.

265. Laugel, C. Oil-water-oil multiple emulsions for prolonged delivery of hydrocortisone after topical application: comparison with simple emulsions / C. Laugel, A. Baillet, M. P. Youenang-Piemi [et al.]. – DOI 10.1016/S0378-5173(97)00302-5 // International journal of pharmaceutics. – 1998. – Vol. 160. – P. 109–117.

266. Lee, S. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables / S. Lee, Y. Choi, H. S. Jeong [et al.]. – DOI 10.1007/s10068-017-0281-1 // Food science and biotechnology. – 2017. – Vol. 27, iss. 2. – P. 333–342.

267. Li, J. Biofortification's contribution to mitigating micronutrient deficiencies / J. Li, C. Martin, A. Fernie. – DOI 10.1038/s43016-023-00905-8 // Nature food. – 2024. – Vol. 5, iss. 1. – P. 19–27.

268. Li, J. Effect of ultrasonic power on the stability of low-molecular-weight oyster peptides functional-nutrition W1/O/W2 double emulsion / J. Li, S. Wang, H. Wang [et al.]. – DOI 10.1016/j.ultsonch.2022.106282 // Ultrasonics sonochemistry. – 2023. – Vol. 92. – Art. 106282.

269. Li, P. H. Process optimization and stability of D-limonene-in-water nano-emulsions prepared by ultrasonic emulsification using response surface methodology / P. H. Li, B. H. Chiang. – DOI 10.1016/j.ultsonch.2011.05.017 // Ultrasonics sonochemistry. – 2012. – Vol. 19, iss. 1. – P. 192–197.

270. Li, Y. Control of lipase digestibility of emulsified lipids by encapsulation within calcium alginate beads / Y. Li, M. Hu, Y. Du [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2010.06.003 // Food hydrocolloids. – 2011. – Vol. 25, iss. 1. – P. 122–130.

271. Liang, Z. W/O/W emulsions stabilized with whey protein concentrate and pectin: effects on storage, pasteurization, and gastrointestinal viability of *Lactocaseibacillus rhamnosus* / Z. Liang, H. Chu, Z. Hou [et al.]. – DOI 10.1016/j.ijbiomac.2023.123477 // International journal of biological macromolecules. – 2023. – Vol. 232. – Art. 123477.

272. Liu, X. Wheat gluten-stabilized high internal phase emulsions as mayonnaise replacers / X. Liu, J. Guo, Z. Wan // Food hydrocolloids. – 2018. – Vol. 77. – P. 168–175.

273. Lobanov, V. G. Oxidative stability of sunflower oils under accelerated aging / V. G. Lobanov, M. S. Karakay, E. V. Shcherbakova // News from universities. Food technology. – 2001. – No. 1. – P. 13–15.

274. Lofti, M. Micronutrient fortification of foods: current practices, research and opportunities / M. Lofti, M. G. Venkatesh Mannar, R. Merx, P. Naber-van den Heuvel. – Ottawa : Micronutrient Initiative ; Wageningen : International Agricultural Centre, 1996. – 108 p. – ISBN 0-660-16230-X.

275. Lohith Kumar, D. Encapsulation of bioactive compounds using nanoemulsions / D. Lohith Kumar, P. Sarkar. – DOI 10.1007/S10311-017-0663-X // Environmental Chemistry Letters. – 2018. – Vol. 16. – P. 59–70.

276. Loladze, I. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition / I. Loladze. – DOI 10.7554/eLife.02245 // eLife. – 2014. – Vol. 3. – Art. e02245.

277. Maa, Y. F. Performance of sonication and microfluidization for liquid-liquid emulsification / Y. F. Maa, C. C. Hsu. – DOI 10.1081/PDT-100101357 // Pharmaceutical Development and Technology. – 1999. – Vol. 4, iss. 2. – P. 233–240.

278. Madene, A. Flavour encapsulation and controlled release / A. Madene, M. Jacquot, J. Scher, S. Desobry. – DOI 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x // International Journal of Food Science and Technology. – 2006. – Vol. 41, iss. 1. – P. 1–21.

279. Magkos, F. Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence / F. Magkos, F. Arvaniti, A. Zampelas. – DOI 10.1080/09637480120092071

// International journal of food sciences and nutrition. – 2003. – Vol. 54, iss. 5. – P. 357–371.

280. Makhlouf, J. Some nutritional characteristics of beans, sweet corn and peas (raw, canned and frozen) produced in the province of Quebec / J. Makhlouf, J. Zee, N. Tremblay [et al.]. – DOI 10.1016/0963-9969(95)00007-9 // Food research international. – 1995. – Vol. 28, iss. 3. – P. 253–259.

281. Mannar, M. G. Micronutrient fortification of foods – rationale, application and impact / M. G. Mannar, R. Sankar. – DOI 10.1007/BF02828115 // Indian journal of pediatrics. – 2004. – Vol. 71, iss. 11. – P. 997–1002.

282. Manzoor, M. Food hydrocolloids: functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. Review / M. Manzoor, J. Singh, J. D. Bandral [et al.]. – DOI 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182 // International journal of biological macromolecules. – 2020. – Vol. 165, pt. A. – P. 554–567.

283. Martinez, H. Food fortification with folic acid for prevention of spina bifida and anencephaly: the need for a paradigm shift in evidence evaluation for policy-making / H. Martinez, H. Pachón, V. Kancherla, G. P. Oakley. – DOI 10.1093/aje/kwab061 // American journal of epidemiology. – 2021. – Vol. 190, iss. 10. – P. 1972–1976.

284. Martin-Torres, S. Applications of multivariate data analysis in shelf life studies of edible vegetal oils – a review of the few past years / S. Martin-Torres, L. Ruiz-Castro, A. M. Jimenez-Carvelo, L. Cuadros-Rodriguez // Food packaging and shelf life. – 2022. – Vol. 31. – Art. 100790.

285. Martirosyan, D. Can functional foods reduce the risk of disease? Advancement of functional food definition and steps to create functional food products / D. Martirosyan, H. Kanya, C. Nadalet. – DOI <https://www.doi.org/10.31989/ffhd.v11i5.788> // Functional foods in health and disease. – 2021. – Vol. 11, iss. 5. – P. 213–221.

286. Mason T. J. Industrial sonochemistry: potential and practicality / T. J. Mason. – DOI 10.1016/0041-624X(92)90072-T // Ultrasonics. – 1992. – Vol. 30, iss. 3. – P. 192–196.

287. Mason, T. G. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties / T. G. Mason, J. N. Wilking, K. Meleson [et al.] // *J. Phys. Condens.* – 2006. – Vol. 18, iss. 41. – Art. R635.

288. Massel, V. Pectin nanoemulsions in multiple emulsions: stability and encapsulation efficiency / V. Massel, Y. Fang, M. Corredig. – DOI 10.1016/j.foodres.2020.109950 // *Food Research International.* – 2021. – Vol. 139. – Art. 109950.

289. Maswal, M. Formulation challenges in encapsulation and delivery of citral for improved food quality / M. Maswal, A. A. Dar. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2013.10.035 // *Food Hydrocolloids.* – 2014. – Vol. 37. – P. 182–195.

290. Mayer, A. B. Historical changes in the mineral content of fruit and vegetables / A. B. Mayer. – DOI 10.1108/00070709710181540 // *British food journal.* – 1997. – Vol. 99, iss. 6. – P. 207–211.

291. Mayer, A. B. Historical changes in the mineral content of fruit and vegetables in the UK from 1940 to 2019: a concern for human nutrition and agriculture / A. B. Mayer, L. Trenchard, F. Rayns. – DOI 10.1080/09637486.2021.1981831 // *International journal of food sciences and nutrition.* – 2022. – Vol. 73, iss. 3. – P. 315–326.

292. McCance, R. The chemical composition of foods / R. McCance, E. Widdowson. – London : His Majesty's Stationery Office, 1940. – 150 p. – (Medical Research Council Special Report Series ; no. 235).

293. McClements, D. J. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals / D. J. McClements, H. Xiao. – DOI 10.1039/c4fo00100a // *Food & Function.* – 2014. – Vol. 5, no. 7. – P. 1320–1333.

294. McClements, D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques / D. J. McClements. – Second edition. – Boca Raton : CRC Press, 2004. – 632 p. – ISBN 978-0-4291-2389-4. – DOI 10.1201/9781420039436.

295. McClements, D. J. Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity / D. J. McClements, J. Rao. – DOI 10.1080/10408398.2011.559558 // *Critical reviews in food science and nutrition.* – 2011. – Vol. 51, iss. 4. – P. 285–330.

296. Mehansho, Haile. Symposium: Food Fortification in Developing Countries Iron Fortification Technology Development: New Approaches. – 2006.

297. Montoro-Huguet, M. A. Small and large intestine (I): malabsorption of nutrients / M. A. Montoro-Huguet, B. Belloc, M. Domínguez-Cajal. – DOI 10.3390/nu13041254 // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, iss. 4. – Art. 1254.

298. Morris, C. The breeder's dilemma – yield or nutrition? / C. Morris, D. Sands. – DOI 10.1038/nbt0906-1078 // *Nature biotechnology*. – 2006. – Vol. 24, iss. 9. – P. 1078–1080.

299. Musina, O. N. Development of accelerated technology for cream cheese with combined acidification / O. N. Musina, N. I. Bondarenko, D. A. Usatyuk // *Food Industry*. – 2023. – T. 8, No. 1. – P. 26-31. – DOI 10.29141/2500-1922-2023-8-1-3.

300. Myers, S. S. Increasing CO₂ threatens human nutrition / S. S. Myers, A. Zanobetti, I. Kloog [et al.]. – DOI 10.1038/nature13179 // *Nature*. – 2014. – Vol. 510, iss. 7503. – P. 139–142.

301. Nagachinta, S. Spray-dried structured lipid containing long-chain polyunsaturated fatty acids for use in infant formulas / S. Nagachinta, C. C. Akoh. – DOI 10.1111/1750-3841.12243 // *Journal of Food Science*. – 2013. – Vol. 78, iss. 10. – P. C1523–C1528.

302. Nedović, V. Encapsulation systems in the food industry / V. Nedović, A. Kalušević, V. Manojlović [et al.]. – DOI 10.1007/978-1-4614-7906-2_13 // *Advances in Food Process Engineering Research and Applications* / eds. S. Yanniotis [et al.]. – Dordrecht : Springer, 2013. – P. 229–253.

303. Nevins, J. E. Predicting potential to benefit from an iron intervention: a randomized controlled trial of double-fortified salt in female Indian tea pluckers / J. E. Nevins, S. Venkatramanan, S. Mehta, J. D. Haas. – DOI 10.1017/S1368980019001800 // *Public Health Nutrition*. – 2019. – Vol. 22, iss. 18. – P. 3416–3425.

304. Nowak, E. Delivery of bioactives in food for optimal efficacy: what inspirations and insights can be gained from pharmaceuticals? / E. Nowak, Y. D. Livney, Z. Niu, H. Singh. – DOI 10.1016/j.tifs.2019.07.029 // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 91. – P. 557–573.

305. Nsairat, H. Liposomes: structure, composition, types, and clinical applications / H. Nsairat, D. Khater, U. Sayed [et al.]. – DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e09394 // Heliyon. – 2022. – Vol. 8, iss. 5. – Art. e09394.

306. Okuro, P. K. Technological challenges for spray chilling encapsulation of functional food ingredients / P. K. Okuro, F. E. de Matos Junior, C. S. Favaro-Trindad // Food technology and biotechnology. – 2013. – Vol. 51, iss. 2. – P. 171–182.

307. Omotosho, J. A. Methotrexate transport from the internal phase of multiple W/O/W emulsions / J. A. Omotosho, T. L. Whateley, A. T. Florence. – DOI 10.3109/02652048909098019 // Journal of microencapsulation. – 1989. – Vol. 6, iss. 2. – P. 183–192.

308. Oxley, J. D. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation / J. D. Oxley. – DOI 10.1533/9780857095909.2.110 // Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals / eds. N. Garti, D. J. McClements. – Cambridge : Woodhead, 2012. – P. 110–130.

309. Øye, G. Trends in food emulsion technology: Pickering, nano and double emulsions / G. Øye, S. Simon, T. Rustad, K. Paso. – DOI 10.1016/j.cofs.2023.101003 // Current opinion in food science. – 2023. – Vol. 50. – Art. 101003.

310. Pedroso, D. D. Protection of *Bifidobacterium lactis* and *Lactobacillus acidophilus* by microencapsulation using spraychilling / D. D. Pedroso, M. Thomazini, R. J. B. Heinemann, C. S. Favaro-Trindade. – DOI 10.1016/j.idairyj.2012.04.008 // International Dairy Journal. – 2012. – Vol. 26, iss. 2. – P. 127–132.

311. Pelsler, W. M. Lipid oxidation in n-3 fatty acid enriched Dutch style fermented sausages / W. M. Pelsler, J. P. H. Linssen, A. Legger, J. H. Houben. – DOI 10.1016/j.meatsci.2006.06.007 // Meat Science. – 2007. – Vol. 75, iss. 1. – P. 1–11.

312. Perdana, J. Interactions between formulation and spray drying conditions related to survival of *Lactobacillus plantarum* WCFS1 / J. Perdana, M. B. Fox, C. Siwei [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodres.2013.12.007 // Food Research International. – 2014. – Vol. 56. – P. 9–17.

313. Poddar, D. Stability of probiotic *Lactobacillus paracasei* during storage as affected by the drying method / D. Poddar, S. Das, G. Jones [et al.]. – DOI 10.1016/j.idairyj.2014.04.007 // International dairy journal. – 2014. – Vol. 39, iss. 1. – P. 1–7.

314. Popa, M. E. Organic foods contribution to nutritional quality and value / M. E. Popa, A. C. Mitelut, E. E. Popa [et al.]. – DOI 10.1016/j.tifs.2018.01.003 // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – Vol. 84. – P. 15–18.

315. Pruesse, U. Comparison of different technologies for alginate beads production / U. Pruesse, L. Bilancetti, M. Bučko [et al.]. – DOI 10.2478/s11696-008-0035-x // Chemical papers. – 2008. – Vol. 62. – P. 364–374.

316. Pruesse, U. Scale-up of the JetCutter technology / U. Pruesse, U. Jahnz, P. Wittlich, K. D. Vorlop. – DOI 10.2298/HEMIND0312636P // Hemijska industrija. – 2003. – Vol. 57, iss. 12. – P. 636–640.

317. Pulungan, M. H. Shelf life prediction of apple brownies using accelerated method / M. H. Pulungan, A. D. Sukmana, I. A. Dewi. – DOI 10.1088/1755-1315/131/1/012019 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 131. – Art. 012019.

318. Rathore, S. Microencapsulation of microbial cells / S. Rathore, P. M. Desai, C. V. Liew [et al.]. – DOI 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022 // Journal of Food Engineering. – 2013. – Vol. 116, iss. 2. – P. 369–381.

319. Ray, J. G. Association of neural tube defects and folic acid food fortification in Canada / J. G. Ray, C. Meier, M. J. Vermeulen [et al.]. – DOI 10.1016/S0140-6736(02)11994-5 // Lancet. – 2002. – Vol. 360, iss. 9350. – P. 2047–2048.

320. Rein, M. J. Bioavailability of bioactive food compounds: a challenging journey to bioefficacy / M. J. Rein, M. Renouf, C. Cruz-Hernandez [et al.]. – DOI 10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x // British journal of clinical pharmacology. – 2013. – Vol. 75, iss. 3. – P. 588–602.

321. Reque, P. M. Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: applications in functional food industry / P. M. Reque, A. Brandelli. – DOI 10.1016/j.tifs.2021.05.022 // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 114. – P. 1–10.

322. Rosati, A. Effect of agronomical practices on carpology, fruit and oil composition, and oil sensory properties, in olive (*Olea europaea* L.) / A. Rosati, C. Cafiero, A. Paoletti [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2014.03.014 // Food chemistry. – 2014. – Vol. 159. – P. 236–243.

323. Rouse, M. Effect of oil based and microencapsulated omega-3 fatty acids on physical and chemical properties of processed cheese / M. Rouse, C. A. Boeneke, K. V. O'Brien, K. Aryana // Milchwissenschaft. – 2012. – Vol. 67. – P. 267–269.

324. Rubilar, M. Development of a soup powder enriched with microencapsulated linseed oil as a source of omega-3 fatty acids / M. Rubilar, E. Morales, K. Contreras [et al.]. – DOI 10.1002/ejlt.201100378 // European journal of lipid science and technology. – 2012. – Vol. 114, iss. 4. – P. 423–433.

325. Safety aspects of genetically modified foods of plant origin : report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from Biotechnology. – Geneva : WHO, 2000. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-FOS-00.6> (дата обращения: 04.05.2023).

326. Saffarionpour S. Preparation of food flavor nanoemulsions by high-and low-energy emulsification approaches / S. Saffarionpour. – DOI 10.1007/s12393-019-09201-3 // Food engineering reviews. – 2019. – Vol. 11, iss. 4. – P. 259–289.

327. Salvia-Trujillo, L. Edible nanoemulsions as carriers of active ingredients: a review / L. Salvia-Trujillo, R. Soliva-Fortuny, M. A. Rojas-Graü [et al.]. – DOI 10.1146/annurev-food-030216-025908 // Annual Review of Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 8. – P. 439–466.

328. Santamaria-Echart, A. New trends in natural emulsifiers and emulsion technology for the food industry / A. Santamaria-Echart, I. P. Fernandes, S. C. Silva [et al.]. – DOI 10.5772/intechopen.99892 // Food Additives / ed. M. Prieto. – 2021. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/78387> (дата обращения: 16.09.2023).

329. Schell, D. Fluidized bed microencapsulation of *Lactobacillus reuteri* with sweet whey and shellac for improved acid resistance and in-vitro gastro-intestinal survival / D. Schell, C. Beermann. – DOI 10.1016/j.foodres.2014.03.016 // Food research international. – 2014. – Vol. 62. – P. 308–314.

330. Schrooyen, P. P. M. Microencapsulation: its application in nutrition / P. P. M. Schrooyen, R. van der Meer, C. G. De Kruif. – DOI 10.1079/pns2001112 // The Proceedings of the Nutrition Society. – 2001. – Vol. 60, iss. 4. – P. 475–479.

331. Schugens, C. H. Effect of the emulsion stability on the morphology and porosity of semicrystalline poly 1-lactide microparticles prepared by W/O/W double emulsion-evaporation / C. H. Schugens, N. Laruelle, N. Nihant [et al.]. – DOI 10.1016/0168-3659(94)90055-8 // J Contr Release. – 1994. – Vol. 32, iss. 2. – P. 161–176.

332. Sevostyanova, E. M. Review of “accelerated aging” methods to justify the shelf life of products in the non-alcoholic industry / E. M. Sevostyanova, A. V. Danilyan // Beer and drinks. – 2018. – No. 3. – P. 56-59.

333. Shanmugam, A. Ultrasonic preparation of stable flax seed oil emulsions in dairy systems – physicochemical characterization / A. Shanmugam, M. Ashokkumar. DOI 10.1016/j.foodhyd.2014.01.006 // Food Hydrocolloids. – 2014. – Vol. 39. – P. 151–162.

334. Shelf life of food products: calculation and testing / ed. R. Stehle. – St. Petersburg : Profession, 2008. – 480 p.

335. Shen, Z. P. Food matrix effects on in vitro digestion of microencapsulated tuna oil powder / Z. P. Shen, C. Apriani, R. Weerakkody [et al.]. – DOI 10.1021/jf201494b // Journal of agricultural and food chemistry. – 2011. – Vol. 59, iss. 15. – P. 8442–8449.

336. Shetty, P. Nutrition sensitive agriculture to achieve better nutritional outcomes / P. Shetty. – DOI 10.1038/s41430-018-0208-9 // European journal of clinical nutrition. – 2018. – Vol. 72, iss. 9. – P. 1296–1299.

337. Shin, M. Metabolic pathways. Metabolism of minerals and vitamins / M. Shin, C. Umezawa, T. Shin. – DOI 10.1016/b978-0-12-384730-0.00201-9 // Encyclopedia of Food Microbiology. – Amsterdam : Elsevier, 2014. – P. 535–543.

338. Shishir, M. R. I. Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters / M. R. I. Shishir, L. Xie, C. Sun [et al.]. – DOI 10.1016/j.tifs.2018.05.018 // Trends in Food Science & Technology. – 2018. – Vol. 78. – P. 34–60.

339. Shkolnikova, M. N. Studying the possibility of using the accelerated aging method to predict the shelf life of non-alcoholic balms / M. N. Shkolnikova, E. V. Averyanova, I. V. Shcheglova // Equipment and technology of food production. – 2009. – No. 1. – P 52-56.

340. Silva, J. Spray-drying for the production of dried cultures / J. Silva, R. Freixo, P. Gibbs, P. Teixeira. – DOI 10.1111/j.1471-0307.2011.00677.x // International journal of dairy technology. – 2011. – Vol. 64, iss. 3. – P. 321–335.

341. Silva, K. A. Olive oil and lemon salad dressing microencapsulated by freeze-drying / K. A. Silva, M. A. Z. Coelho, V. M. A. Calado, M. H. M. Rocha-Leão. – DOI 10.1016/j.lwt.2012.08.005 // LWT – Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 50, iss. 2. – P. 569–574.

342. Singh, A. Comparative study on ethanol production from pretreated sugarcane bagasse using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on various matrices / A. Singh, P. Sharma, A. K. Saran [et al.]. – DOI 10.1016/j.renene.2012.07.003 // Renew Energy. – 2013. – Vol. 50. – P. 488–493.

343. Singh, A. K. Development of “Smart Foods” for health by nanoencapsulation: novel technologies and challenges / A. K. Singh, P. Pal, B. Pandey [et al.]. – DOI 10.1016/j.fochx.2023.100910 // Food Chemistry: X. – 2023. – Vol. 20. – Art. 100910.

344. Solans, C. Nano-emulsions / C. Solans, P. Izquierdo, J. Nolla [et al.]. – DOI 10.1016/j.cocis.2005.06.004 // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2005. – Vol. 10, iss. 3–4. – P. 102–110.

345. Solans, C. Nano-emulsions: formation by low-energy methods / C. Solans, I. Solé. – DOI 10.1016/j.cocis.2012.07.003 // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2012. – Vol. 17, iss. 5. – P. 246–254.

346. Solon, F. Efficacy of a vitamin A–fortified wheat-flour bun on the vitamin A status of Filipino schoolchildren / F. Solon, R. Klemm, L. Sanchez [et al.]. – DOI 10.1093/ajcn/72.3.738 // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2000. – Vol. 72, iss. 3. – P. 738–744.

347. Speranza, B. Encapsulation of active compounds in fruit and vegetable juice processing: current state and perspectives / B. Speranza, L. Petruzzi, A. Bevilacqua

[et al.]. – DOI 10.1111/1750-3841.13727 // J. Food Sci. – 2017. – Vol. 82, iss. 6. – P. 1291–1301.

348. Stratulat, I. Enrichment of cheese with bioactive lipophilic compounds / I. Stratulat, M. Britten, S. Salmieri [et al.]. – DOI 10.1016/j.jff.2013.11.023 // Journal of Functional Foods. – 2014. – Vol. 6. – P. 48–59.

349. Sugasini, D. Uptake of α -linolenic acid and its conversion to long chain omega-3 fatty acids in rats fed microemulsions of linseed oil / D. Sugasini, B. R. Lokesh. – DOI 10.1007/s11745-012-3731-9 // Lipids. – 2012. – Vol. 49, iss. 12. – P. 1155–1167.

350. Tamjidi, F. Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil / F. Tamjidi, A. Nasirpour, M. Shahedi. – DOI 10.1177/1082013211428212 // Food Science and Technology International = Ciencia y tecnologia de los alimentos internacional. – 2012. – Vol. 18, iss. 4. – P. 381–390.

351. Tao, J. Preparation of steppogenin and ascorbic acid, vitamin E, butylated hydroxytoluene oil-in-water microemulsions: characterization, stability, and antibrowning effects for fresh apple juice / J. Tao, Q. Zhu, F. Qin [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2016.12.045 // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 224. – P. 11–18.

352. Taylor, G. I. The scientific papers of G. I. Taylor, vol. 3. – Cambridge : Cambridge University Press, 1963. – P. 457–464.

353. Taylor, G. I. The shape and acceleration of a drop in a high-speed air stream / G. I. Taylor // The Scientific Papers by G. I. Taylor, vol. 3 / ed. G. K. Batchelor. – Cambridge : Cambridge University Press, 1963. – P. 457–464.

354. Tereshchuk, L. V. Practical aspects of the use of emulsifiers in manufacturing emulsion fat-and-oil products / L. V. Tereshchuk, K. V. Starovoytova, O. A. Ivashina. – DOI 10.21603/2308-4057-2018-1-30-39 // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, no. 1. – P. 30–39.

355. Thuy, P. V. Regular consumption of NaFeEDTA-fortified fish sauce improves iron status and reduces the prevalence of anemia in anemic Vietnamese women / P. V. Thuy, J. Berger, L. Davidsson [et al.]. – DOI 10.1093/ajcn/78.2.284 // The American journal of clinical nutrition. – 2003. – Vol. 78, iss. 2. – P. 284–290.

356. Toydemir, G. Effect of food processing on antioxidants, their bioavailability and potential relevance to human health / G. Toydemir, B. G. Subasi, R. Hall [et al.]. – DOI 10.1016/j.fochx.2022.100334 // Food chemistry: X. – 2022. – Vol. 14. – Art. 100334.

357. Trilokia, M. Microencapsulation for food: an overview / M. Trilokia, J. Bandral, A. Chib, P. Choudhary // The Pharma Innovation Journal. – 2022. – Vol. 11, iss. 2. – P. 1174–1180.

358. Tsiadouli, M. A. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe / M. A. Tsiadouli, E. Thebault, S. P. Sgardelis [et al.]. – DOI 10.1111/gcb.12752 // Global change biology. – 2015. – Vol. 2, iss. 2. – P. 973–985.

359. Uluata, S. Optimization of nanoemulsion fabrication using microfluidization: role of surfactant concentration on formation and stability / S. Uluata, E. A. Decker, D. J. McClements. – DOI 10.1007/s11483-015-9416-1 // Food biophysics. – 2016. – Vol. 11. – P. 52–59.

360. Umesha, S. S. Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (alpha-linolenic acid) rich Garden cress (*Lepidium sativum*) seed oil: physical, sensory and storage quality characteristics of biscuits / S. S. Umesha, R. S. Manohar, A. R. Indiramma [et al.]. – DOI 10.1016/j.lwt.2014.02.018 // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 62, iss. 1, pt. 2. – P. 654–661.

361. Velasco, J. Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils / J. Velasco, C. Dobarganes, G. Márquez-Ruiz. – DOI 10.3989/gya.2003.v54.i3.246 // Grasas y aceites. – 2003. – Vol. 54, iss. 3. – P. 304–314.

362. Verardo, V. Evaluation of lipid oxidation in spaghetti pasta enriched with long chain n-3 polyunsaturated fatty acids under different storage conditions / V. Verardo, F. Ferioli, Y. Riciputi [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodchem.2008.09.074 // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 114, iss. 2. – P. 472–477.

363. Vitamin B12 Deficiency / Cleveland Clinic. – URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22831-vitamin-b12-deficiency> (дата обращения: 13.04.2023).

364. Wan, Y. T. Physical and nutritional properties of baby food containing menhaden oil (*Brevoortia tyrannus*) and microencapsulated menhaden oil / Y. T. Wan, P. J. Bechtel, S. Sathivel // LWT – Food Science & Technology. – 2011. – Vol. 44. – P. 576–581.

365. Wan, Y. T. Physicochemical properties of red salmon oil (*Oncorhynchus nerka*) and microencapsulated red salmon oil added to baby food / Y. T. Wan, J. Li, K. M. Solval [et al.]. – DOI 10.1007/s11746-011-1957-y // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2012. – Vol. 89. – P. 727–734.

366. Wang, R. X. A novel process for microencapsulation of fish oil with barley protein / R. X. Wang, Z. G. Tian, L. Y. Chen. – DOI 10.1016/j.foodres.2011.06.013 // Food Research International. – 2011. – Vol. 44, iss. 9. – P. 2735–2741.

367. Wang, Y. Emulsion and its application in the food field: an update review / Y. Wang, C. Ai, H. Wang [et al.]. – DOI 10.1002/efd2.102 // eFood. – 2023. – Vol. 4, iss. 4. – Art. e102.

368. Watanabe, S. Applications of medium-chain triglycerides in foods / S. Watanabe, S. Tsujino. – DOI 10.3389/fnut.2022.802805 // Frontiers in Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – Art. 802805.

369. Watson, C. A. Managing soil fertility in organic farming systems / C. A. Watson, D. Atkinson, P. Gosling [et al.]. – DOI 10.1111/j.1475-2743.2002.tb00265.x // Soil use and management. – 2002. – Vol. 18, iss. S1. – P. 239–247.

370. Weng, Y.-K. Use of modern regression analysis in the dielectric properties of foods / Y.-K. Weng, J. Chen, C.-W. Cheng, C. Chen. – DOI 10.3390/foods9101472 // Foods. – 2020. – Vol. 9, iss. 10. – Art. 1472.

371. White, P. J. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products / P. J. White, M. R. Broadley. – DOI 10.1080/14620316.2005.11511995 // The journal of horticultural science and biotechnology. – 2005. – Vol. 80, iss. 6. – P. 660–667.

372. Wickramasinghe, S. N. Diagnosis of megaloblastic anaemias / S. N. Wickramasinghe. – DOI 10.1016/j.blre.2006.02.002 // Blood reviews. – 2006. – Vol. 20, iss. 6. – P. 299–318.

373. Yang, Y. Fabrication of ultrafine edible emulsions: comparison of high-energy and low-energy homogenization methods / Y. Yang, C. Marshall-Breton, M. E. Leser [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2012.04.009 // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 29, iss. 2. – P. 398–406.

374. Ye, A. Evaluation of processed cheese fortified with fish oil emulsion / A. Ye, J. Cui, A. Taneja [et al.]. – DOI 10.1016/j.foodres.2009.05.006 // *Food Research International*. – 2009. – Vol. 42, iss. 8. – P. 1093–1098.

375. Yin, C. Quality changes of rainbow trout stored under different packaging conditions and mathematical modeling for predicting the shelf life / C. Yin, J. Wang, J. Qian [et al.] // *Food Packaging and Shelf Life*. – 2022. – Vol. 32. – Art. 100824.

376. Yoshida, K. Stability of vitamin A in oil-in-water-in-oil-type multiple emulsions / K. Yoshida, S. Tomoko, F. Matsuzaki [et al.]. – DOI 10.1007/s11746-999-0212-2 // *Journal of the American oil chemists' society*. – 1999. – Vol. 76, iss. 2. – P. 195–200.

377. Yu, L. The effect of omega-3 unsaturated fatty acids on non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis of RCTs / L. Yu, M. Yuan, L. Wang. – DOI 10.12669/pjms.334.12315 // *Pakistan Journal of Medical Sciences*. – 2017. – Vol. 33, iss. 4. – P. 1022–1028.

378. Yu, P. Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: a review / P. Yu, M. Y. Low, W. Zhou // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – Vol. 71. – P. 202–215.

379. Yuan, C. Characterization of an inclusion complex of ethyl benzoate with hydroxypropyl- β -cyclodextrin / C. Yuan, Z. Lu, Z. Jin. – DOI 10.1016/j.foodchem.2013.11.139 // *Food chemistry*. – 2014. – Vol. 152. – P. 140–145.

380. Zadymova, N. M. Invert and double emulsions as base for microheterogeneous matrices for transdermal delivery of lipophilic drugs / N. M. Zadymova, G. A. Arshakyan, V. G. Kulichikhin. – DOI 10.1007/s11172-013-0109-y // *Russian chemical bulletin*. – 2013. – Vol. 62, no. 3. – P. 802–815.

381. Zhang, W. Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits / W. Zhang [et al.] // *LWT*. – 2021. – Vol. 138. – Art. 110610.

382. Zhang, Y. Probiotic encapsulation in water-in-oil high internal phase emulsions: enhancement of viability under food and gastrointestinal conditions / Y. Zhang, Y. Xie, H. Liu [et al.]. – DOI 10.1016/j.lwt.2022.113499 // LWT. – 2022. – Vol. 163. – Art. 113499.

383. Zhuoshi, Li. Prediction model of multiple linear regression analysis in grain production / Zhuoshi Li, Xuejun Cao, Xiaoqi Ding, Hang Chen // Advances in Engineering Research. – 2015. – Vol. 21. – P. 1290–1293.

384. Zimmermann, M. B. Addition of microencapsulated iron to iodized salt improves the efficacy of iodine in goitrous, iron-deficient children: a randomized, double-blind, controlled trial / M. B. Zimmermann, C. Zeder, N. Chaouki [et al.]. – DOI 10.1530/eje.0.1470747 // European Journal of Endocrinology. – 2002. – Vol. 147, iss. 6. – P. 747–753.

385. Zou, L. Designing excipient emulsions to increase nutraceutical bioavailability: emulsifier type influences curcumin stability and bioaccessibility by altering gastrointestinal fate / L. Zou, W. Liu, C. Liu [et al.]. – DOI 10.1039/c5fo00606f // Food & Function. – 2015. – Vol. 6, iss. 8. – P. 2475–2486.

386. Zou, L. Enhancing nutraceutical bioavailability using excipient emulsions: influence of lipid droplet size on solubility and bioaccessibility of powdered curcumin / L. Zou, B. Zheng, W. Liu [et al.]. – DOI 10.1016/j.jff.2015.02.044 // Journal of Functional Foods. – 2015. – Vol. 15. – P. 72–83.

387. Zou, L. Utilizing food matrix effects to enhance nutraceutical bioavailability: increase of curcumin bioaccessibility using excipient emulsions / L. Zou, W. Liu, C. Liu, [et al.]. – DOI 10.1021/jf506149f // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 63, iss. 7. – P. 2052–2062.

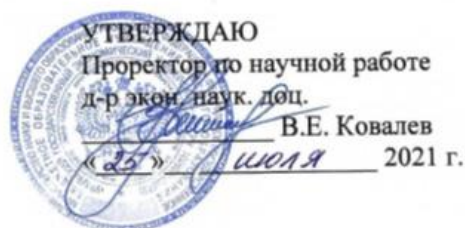
388. Zuidam, N. J. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them / N. J. Zuidam, E. Shimoni. – DOI 10.1007/978-1-4419-1008-0_2 // Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing / eds. N. J. Zuidam, V. Nedovic. – New York : Springer, 2010. – P. 3–29.

Приложение А
(справочное)

Отчет о научно-исследовательской работе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(УрГЭУ)

УДК 641.88
Пер. №



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
на тему:

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Шифр работы Т-40/2021

Руководитель НИР
зав. кафедрой.
д-р техн. наук, профессор О.В. Чугунова О.В. Чугунова

Екатеринбург 2021

Приложение Б (справочное)

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2021661916

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2021661916</p> <p>Дата регистрации: 19.07.2021</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2021660827 08.07.2021</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 19.07.2021 Бюл. № 7</p> <p>Контактные реквизиты: (343) 283-10-96, usue@usue.ru</p>	<p>Автор(ы): Феофилактова Ольга Владимировна (RU), Гращенков Дмитрий Валерьевич (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный экономический университет» (УрГЭУ) (RU)</p>
---	---

Название программы для ЭВМ:
«Компьютерная программа проектирования оптимального соотношения полиненасыщенных жирных кислот жировой основы»

Реферат:

Программа предназначена для подбора рецептурных смесей на основе данных о химическом составе (жирно-кислотный состав) симплекс-методом или методом ОПГ. Программа позволяет определять рекомендуемые закладки (в граммах и процентах в общей доле смеси). Программа обеспечивает выполнение следующих функций: ведение справочника растительных масел с указанием содержания жирных кислот; определение компонентов с постоянной закладкой (константа); расчет норм закладки каждого компонента смеси растительных масел по массе нетто; расчет норм закладки каждого компонента смеси растительных масел по массовой доле; расчет выхода смеси; расчет фактического соотношения жирных кислот. Программа может применяться предприятиями общественного питания и пищевой промышленности для составления рецептурных смесей, а также в учебном процессе высших и средних учебных заведений. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК; ОС: Windows XP/Vista/7/8/10.

Язык программирования: Visual Basic for Application (VBA)

Объем программы для ЭВМ: 37 КБ

Приложение В
(справочное)

Хроматограммы исследования жирнокислотного состава

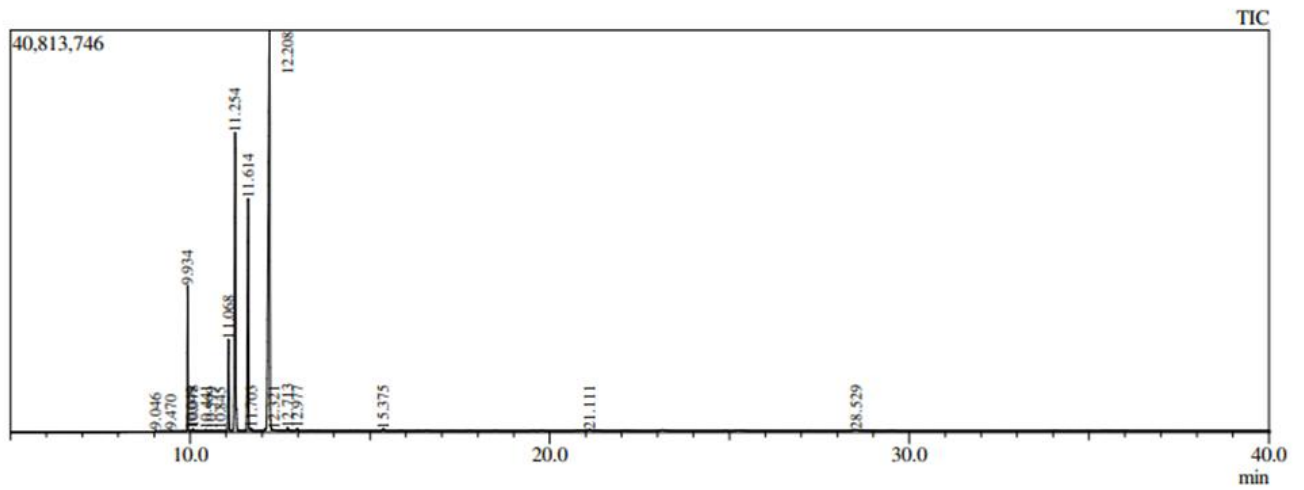


Рисунок В.1 – Хроматограмма льняного масла

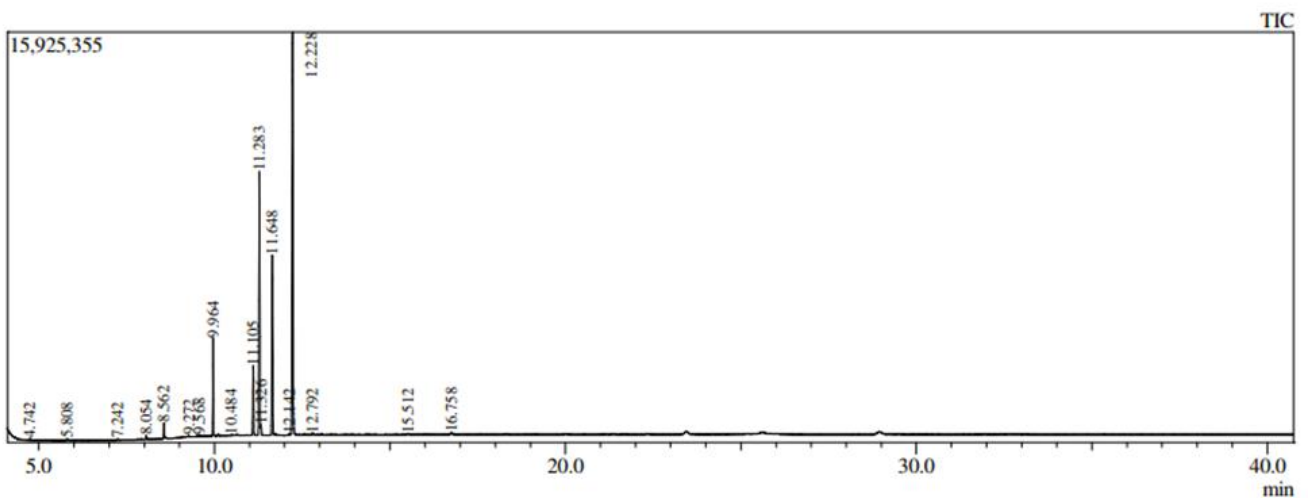


Рисунок В.2 – Хроматограмма БЭФ после ультразвукового диспергирования в течение 10 мин

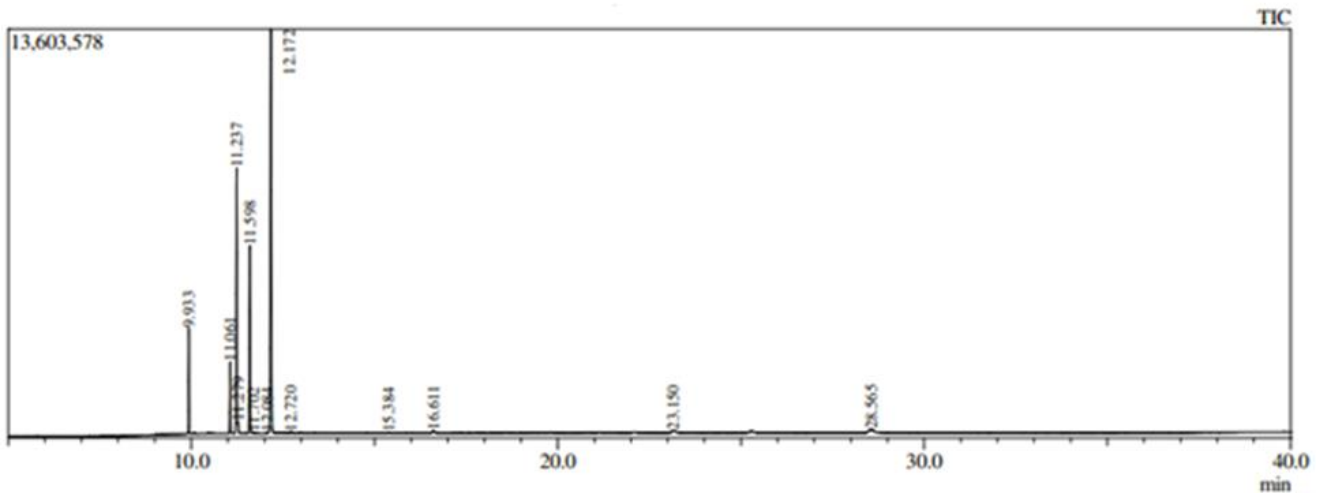


Рисунок В.3 – Хроматограмма БЭФ после ультразвукового диспергирования в течение 20 мин

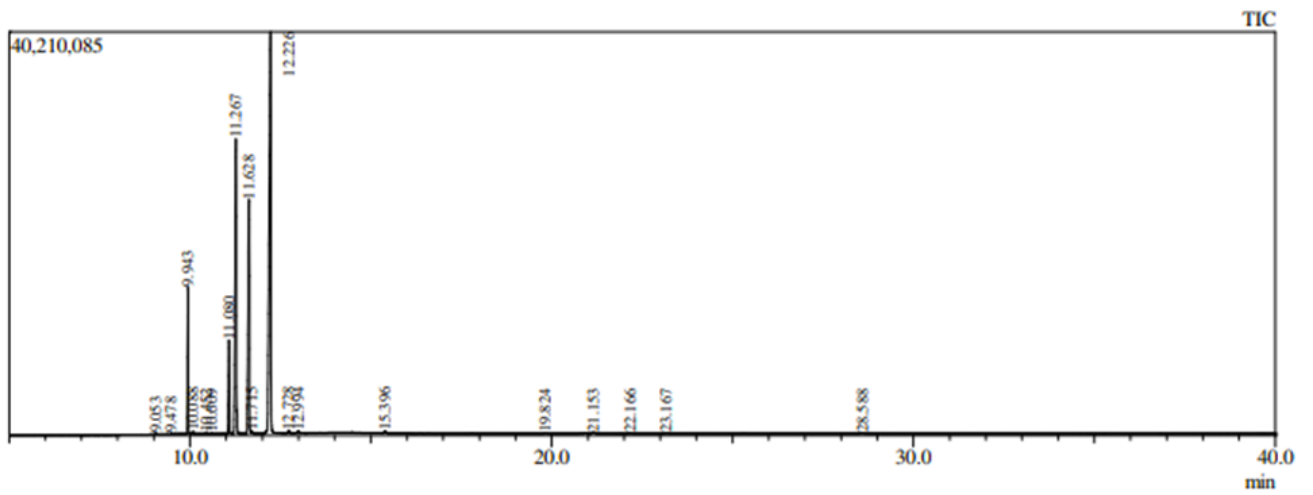


Рисунок В.4 – Хроматограмма БЭФ после ультразвукового диспергирования в течение 30 мин

Приложение Г
(справочное)

Протокол результатов испытаний БЭПС
по микробиологическим показателям

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ОТДЕЛ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ И БИОТЕХНОЛОГИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

630501, р.п. Краснообск,
Новосибирский район, а/я 358
т.348-56-33 (доп.112) факс 348-04-09

Лицензия № 54. НС.11.001.Л.000054.06.09
от 24.06.2009

ПРОТОКОЛ № 6–2022
результатов испытаний от 25.05.2022

Наименование пробы: эмульсии

Количество образцов: 11 образцов

Дата поступления на исследование: 17.05.2022

Цель испытания: соответствие НД СанПиН 2..3.2.1078-01

Результаты исследования:

Примечание

образец	КМАФАнМ КОЕ/г	БГКП		Salmonella	Пл. грибы КОЕ/г	Дрожжи КОЕ/г
		10 ¹	10 ²			
1	н/р	–	–	не выявлено	н/р	н/р
1/1	н/р	–	–	не выявлено	н/р	н/р
1 – к	н/р	–	–	не выявлено	н/р	н/р
1 – к/1	н/р	–	–	не выявлено	н/р	н/р
1 – к/2	н/р	–	–	не выявлено	н/р	н/р
2	1,68×10 ⁵	–	–	не выявлено	н/р	1,02×10 ⁴
2/1	1,23×10 ⁵	–	–	не выявлено	н/р	н/р
2/2	2,50×10 ⁵	–	–	не выявлено	н/р	н/р
2 – к	5,47×10 ⁶	–	–	не выявлено	н/р	7,84×10 ⁴
2 – к/1	1,64×10 ⁵	–	–	не выявлено	н/р	8,63×10 ²
2 – к/2	1,36×10 ⁶	–	–	не выявлено	н/р	н/р
п.1.7.3.4 Кремы на растительных маслах	1,00×10 ⁴	0,1		в 25,0 г	50	50

Начальник отдела пищевых систем
и биотехнологий, д.т.н.

Исследователь: вед. научн. сотр., к.б.н.



О.К. Мотовилов

Г.П. Чекрыга

**** Дисперсионный анализ экспериментальных данных
 Комментарии: Дрожжи А – срок хранения, В – вид эмульсии
 1. Таблица ANOVA. Полная рендомизация.

Дисперсия	Сумма	Доля	Степени	Средний	F-
квадратов	вариации	свободы	квадрат	критерий	
Общая	95,132	1.0000	11	8,648	
Случайные Факторы	0,001	0,0000	6	0,000	
Варианты	95,131	1,0000	5	19,026	134303
=>Фактор А Fixed	19,635	0,2064	1	19,635	138602
=>Фактор В Fixed	48,125	0,5059	2	24,063	169855
=>Взаимодействие	27,370	0,2877	2	13,685	96602

2. Таблица факторных средних.

Варианты	Фактор-"В"		Фактор-"А"	
1 2 3	Средние	Разница	Значима?	
1	7,850	0,875	0,000	2,908 Контроль
2	1,050	0,000	0,000	0,350 -2,558 Да!
Средние	4,450	0,438	0,000	1,6292 -1,279 Да!
Разница	Контр.	-4,01	-4,45	-2,821
Значима?	Да!	Да!	Да!	

3а. Действие факторов, влияние по Снедекору. Полная рендомизация.

Фактор	Степень	Критерий Фишера-Снедекора	Наим.Существ.Разность
влияния	F	ст.своб. вероятность	1% 5% 10%
А	0,2029	138601,7	1 6 0,00000* 0,025 0,017
В	0,3729	169854,7	2 6 0,00000* 0,038 0,026
АВ	0,4242	96601,66	2 6 0,00000*
Частные средние		134302,9	5 6 0,00000* 0,067 0,047

Стандартная ошибка = 0,0084 (0,52% от общего среднего)
 Анализ средних в таблице – по НСР(5%), критерий Тьюки

3б. Действие факторов, влияние по Снедекору. Рендомизация в блоках.

Фактор	Степень	Критерий Фишера-Снедекора	Наим.Существ.Разность
влияния	F	ст.своб. вероятность	1% 5% 10%
А	0,2029	222285,8	1 5 0,00000* 0,022 0,014
В	0,3729	272408,5	2 5 0,00000* 0,033 0,022
АВ	0,4242	154927,2	2 5 0,00000*
Частные средние		215391,5	5 5 0,00000* 0,059 0,040

Стандартная ошибка = 0,0066 (0,41% от общего среднего)

**** Дисперсионный анализ экспериментальных данных
 Комментарии: КМАФАНМ А – срок хранения, В – вид эмульсии
 1. Таблица ANOVA. Полная рендомизация.

Дисперсия	Сумма	Доля	Степени	Средний	F-
квадратов	вариации	свободы	квадрат	критерий	
Общая	4479,701	1.0000	11	407,246	
Случайные Факторы	0,010	0,0000	6	0,002	
Варианты	4479,691	1,0000	5	895,938	519376
=>Фактор А Fixed	1386,965	0,3096	1	1386,965	804024
=>Фактор В Fixed	1550,032	0,3460	2	775,016	449277
=>Взаимодействие	1542,693	0,3444	2	771,347	447150

2. Таблица факторных средних.

Варианты	Фактор-"В"		Фактор-"А"	
1 2 3	Средние	Разница	Значима?	
1	54,65	1,630	13,65	23,31 Контроль
2	1,685	1,235	2,505	1,808 -21,50 Да!
Средние	28,17	1,433	8,078	12,559 -10,75 Да!
Разница	Контр.	-26,7	-20,1	-15,61
Значима?	Да!	Да!	Да!	

3а. Действие факторов, влияние по Снедекору. Полная рендомизация.

Фактор	Степень	Критерий Фишера-Снедекора	Наим.Существ.Разность
влияния	F	ст.своб. вероятность	1% 5% 10%
А	0,2852	804024,3	1 6 0,00000* 0,089 0,059
В	0,2390	449277,3	2 6 0,00000* 0,131 0,090
АВ	0,4758	447150,0	2 6 0,00000*
Частные средние	519375,8	5 6	0,00000* 0,234 0,165

Стандартная ошибка = 0,0294 (0,23% от общего среднего)
 Анализ средних в таблице – по НСР(5%), критерий Тьюки

3б. Действие факторов, влияние по Снедекору. Рендомизация в блоках.

Фактор	Степень	Критерий Фишера-Снедекора	Наим.Существ.Разность
влияния	F	ст.своб. вероятность	1% 5% 10%
А	0,2852	670559,8	1 5 0,00000* 0,106 0,067
В	0,2390	374699,3	2 5 0,00000* 0,159 0,105
АВ	0,4758	372925,1	2 5 0,00000*
Частные средние	433161,7	5 5	0,00000* 0,287 0,194

Стандартная ошибка = 0,0322 (0,26% от общего среднего)

Приложение Д
(справочное)

**Перечень исследуемых факторов, матрица планирования и результаты
эксперимента**

1. Переменная состояния – результат комплексной органолептической оценки, единица измерения – балл / стойкость эмульсии, %.

Факторы:

X_1 - мощность ультразвуковой гомогенизации, Дж

X_2 – амплитуда ультразвуковой гомогенизации, %

X_3 – продолжительность обработки, мин

X_4 – концентрация эмульгатора 1, % мас.

X_5 – концентрация эмульгатора 2, % мас.

X_6 – количество «масла», % мас.

X_7 – количество воды, % мас.

Область определения факторов:

$$5000 \leq X_1 \leq 2000000$$

$$20 \leq X_2 \leq 100$$

$$1 \leq X_3 \leq 30$$

$$0,5 \leq X_4 \leq 10$$

$$0,5 \leq X_5 \leq 10$$

$$20 \leq X_6 \leq 80$$

$$20 \leq X_7 \leq 80$$

Нулевые уровни:

$$X_{10} \quad 1002500$$

$$X_{20} \quad 60$$

$$X_{30} \quad 15,5$$

$$X_{40} \quad 5,25$$

$$X_{50} \quad 5,25$$

$$X_{60} \quad 50$$

$$X_{70} \quad 50$$

Интервалы варьирования факторов:

$$\Delta X_1 = 997500$$

$$\Delta X_2 = 40$$

$$\Delta X_3 = 14,5$$

$$\Delta X_4 = 4,75$$

$$\Delta X_5 = 4,75$$

$$\Delta X_6 = 30$$

$$\Delta X_7 = 30$$

Таблица Д.1 – Матрица планирования и результаты эксперимента 1

Наименование	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Априорные сведения
Нулевой уровень X _{i0}	1002500	60	15,5	5,25	5,25	50,0	50,0	
Интервал варьирования Δ X _i	997500	40	14,5	4,75	4,75	30	30	
Верхний уровень X _{iv}	2000000	100	30	10	10	80	80	
Нижний уровень X _{in}	5000	20	1	0,5	0,5	20	20	

Опыты	X ₀	План							Переменная состояния							Расчеты	
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂
1	+	-	-	-	-	-	-	-	5000	20	1	0,5	0,5	20	20	1,8	1,9
2	+	+	-	-	-	-	-	-	2000000	20	1	0,5	0,5	20	20	2,8	2,9
3	+	-	+	-	-	-	-	-	5000	100	1	0,5	0,5	20	20	1,9	2,0
4	+	+	+	-	-	-	-	-	2000000	100	1	0,5	0,5	20	20	3,3	3,4
5	+	-	-	+	-	-	-	-	5000	20	30	0,5	0,5	20	20	2,1	2,1
6	+	+	-	+	-	-	-	-	2000000	20	30	0,5	0,5	20	20	3,8	3,9
7	+	-	+	+	-	-	-	-	5000	100	30	0,5	0,5	20	20	2,2	2,3
8	+	+	+	+	-	-	-	-	2000000	100	30	0,5	0,5	20	20	4,0	4,2
9	+	-	-	-	+	-	-	-	5000	20	1	10	0,5	20	20	1,9	1,9
10	+	+	-	-	+	-	-	-	2000000	20	1	10	0,5	20	20	3,0	2,9
11	+	-	+	-	+	-	-	-	5000	100	1	10	0,5	20	20	2,0	2,0
12	+	+	+	-	+	-	-	-	2000000	100	1	10	0,5	20	20	3,6	3,7
13	+	-	-	+	+	-	-	-	5000	20	30	10	0,5	20	20	2,2	2,3
14	+	+	-	+	+	-	-	-	2000000	20	30	10	0,5	20	20	4,1	4,0
15	+	-	+	+	+	-	-	-	5000	100	30	10	0,5	20	20	2,3	2,4
16	+	+	+	+	+	-	-	-	2000000	100	30	10	0,5	20	20	4,2	4,3
17	+	-	-	-	-	+	-	-	5000	20	1	0,5	10	20	20	1,9	1,9
18	+	+	-	-	-	+	-	-	2000000	20	1	0,5	10	20	20	3,0	3,0
19	+	-	+	-	-	+	-	-	5000	100	30	10	10	20	20	2,5	2,4
20	+	+	+	-	-	+	-	-	2000000	100	1	0,5	10	20	20	3,6	3,6
21	+	-	-	+	-	+	-	-	5000	20	30	0,5	10	20	20	2,2	2,2
22	+	+	-	+	-	+	-	-	2000000	20	30	0,5	10	20	20	3,9	4,0
23	+	-	+	+	-	+	-	-	5000	100	30	0,5	10	20	20	2,4	2,4
24	+	+	+	+	-	+	-	-	2000000	100	30	0,5	10	20	20	4,3	4,3
25	+	-	-	-	+	+	-	-	5000	20	1	10	10	20	20	2,0	2,0
26	+	+	-	-	+	+	-	-	2000000	20	1	10	10	20	20	3,8	3,7
27	+	-	+	-	+	+	-	-	5000	100	1	10	10	20	20	2,1	2,0

Опыты	X ₀	План							Переменная состояния							Расчеты	
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂
28	+	+	+	-	+	+	-	-	2000000	100	1	10	10	20	20	4,0	4,1
29	+	-	-	+	+	+	-	-	5000	20	30	10	10	20	20	2,4	2,5
30	+	+	-	+	+	+	-	-	2000000	20	30	10	10	20	20	4,2	4,3
31	+	-	+	+	+	+	-	-	5000	100	30	10	10	20	20	2,4	2,5
32	+	+	+	+	+	+	-	-	2000000	100	30	10	10	20	20	4,8	4,9
33	+	-	-	-	-	-	+	-	5000	20	1	0,5	0,5	80	20	1,9	1,9
34	+	+	-	-	-	-	+	-	2000000	20	1	0,5	0,5	80	20	2,9	2,8
35	+	-	+	-	-	-	+	-	5000	100	1	0,5	0,5	80	20	1,9	1,9
36	+	-	-	+	-	-	+	-	5000	20	30	0,5	0,5	80	20	2,0	2,1
37	+	+	-	+	-	-	+	-	2000000	20	30	0,5	0,5	80	20	4,0	3,9
38	+	-	+	+	-	-	+	-	5000	100	30	0,5	0,5	80	20	2,4	2,5
39	+	+	+	+	-	-	+	-	2000000	100	30	0,5	0,5	80	20	4,3	4,4
40	+	-	-	-	+	-	+	-	5000	20	1	10	0,5	80	20	2,0	2,0
41	+	+	-	-	+	-	+	-	2000000	20	1	10	0,5	80	20	3,2	3,3
42	+	-	+	-	+	-	+	-	5000	100	1	10	0,5	80	20	2,0	2,1
43	+	+	+	-	+	-	+	-	2000000	100	1	10	0,5	80	20	4,1	4,2
44	+	-	-	+	+	-	+	-	5000	20	30	10	0,5	80	20	2,3	2,4
45	+	+	-	+	+	-	+	-	2000000	20	30	10	0,5	80	20	4,0	4,1
46	+	-	+	+	+	-	+	-	5000	100	30	10	0,5	80	20	2,4	2,3
47	+	+	+	+	+	-	+	-	2000000	100	30	10	0,5	80	20	4,5	4,6
48	+	-	-	-	-	+	+	-	5000	20	1	0,5	10	80	20	2,0	1,9
49	+	+	-	-	-	+	+	-	2000000	20	1	0,5	10	80	20	3,6	3,7
50	+	-	+	-	-	+	+	-	5000	100	1	0,5	10	80	20	2,0	2,0
51	+	+	+	-	-	+	+	-	2000000	100	1	0,5	10	80	20	3,9	4,0
52	+	-	-	+-	-	+	+	-	5000	20	30	0,5	10	80	20	2,0	2,1
53	+	+	-	+	-	+	+	-	2000000	20	30	0,5	10	80	20	4,2	4,3
54	+	-	+	+	-	+	+	-	5000	100	30	0,5	10	80	20	2,3	2,4
55	+	+	+	+	-	+	+	-	2000000	100	30	0,5	10	80	20	4,4	4,4
56	+	-	-	-	+	+	+	-	5000	20	1	10	10	80	20	2,0	2,0
57	+	+	-	-	+	+	+	-	2000000	20	1	10	10	80	20	3,8	3,9
58	+	-	+	-	+	+	+	-	5000	100	1	10	10	80	20	2,0	2,0
59	+	+	+	-	+	+	+	-	2000000	100	1	10	10	80	20	4,3	4,2
60	+	-	-	+	+	+	+	-	5000	20	30	10	10	80	20	2,3	2,4
61	+	+	-	+	+	+	+	-	2000000	20	30	10	10	80	20	4,4	4,3

Опыты	X ₀	План							Переменная состояния							Расчеты	
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂
62	+	-	+	+	+	+	+	-	5000	100	30	10	10	80	20	2,4	2,4
63	+	+	+	+	+	+	+	-	2000000	100	30	10	10	80	20	4,9	5,0
64	+	-	-	-	-	-	-	+	5000	20	1	0,5	0,5	20	80	1,8	1,9
65	+	+	-	-	-	-	-	+	2000000	20	1	0,5	0,5	20	80	3,1	3,0
66	+	-	+	-	-	-	-	+	5000	100	1	0,5	0,5	20	80	1,9	1,9
67	+	+	+	-	-	-	-	+	2000000	100	1	0,5	0,5	20	80	3,4	3,4
68	+	-	-	+	-	-	-	+	5000	20	30	0,5	0,5	20	80	2,0	2,1
69	+	+	-	+-	-	-	-	+	2000000	20	30	0,5	0,5	20	80	4,1	4,0
70	+	-	+	+	-	-	-	+	5000	100	30	0,5	0,5	20	80	2,2	2,1
71	+	+	+	+	-	-	-	+	2000000	100	30	0,5	0,5	20	80	4,3	4,3
72	+	-	-	-	+	-	-	+	5000	20	1	10	0,5	20	80	1,8	1,9
73	+	+	-	-	+	-	-	+	2000000	20	1	10	0,5	20	80	3,5	3,6
74	+	-	+	-	+	-	-	+	5000	100	1	10	0,5	20	80	2,0	2,0
75	+	+	+	-	+	-	-	+	2000000	100	1	10	0,5	20	80	3,9	3,9
76	+	-	-	+	+	-	-	+	5000	20	30	10	0,5	20	80	2,3	2,2
77	+	+	-	+	+	-	-	+	2000000	20	30	10	0,5	20	80	4,0	4,0
78	+	-	+	+	+	-	-	+	5000	100	30	10	0,5	20	80	2,3	2,4
79	+	+	+	+	+	-	-	+	2000000	100	30	10	0,5	20	80	4,4	4,3
80	+	-	-	-	-	+	-	+	5000	20	1	0,5	10	20	80	2,0	2,0
81	+	+	-	-	-	+	-	+	2000000	20	1	0,5	10	20	80	3,7	3,6
82	+	-	+	-	-	+	-	+	5000	100	1	0,5	10	20	80	2,0	2,0
83	+	+	+	-	-	+	-	+	2000000	100	1	0,5	10	20	80	3,9	4,0
84	+	-	-	+	-	+	-	+	5000	20	30	0,5	10	20	80	2,3	2,2
85	+	+	--	+	-	+	-	+	2000000	20	30	0,5	10	20	80	4,1	4,0
86	+	-	+	+	-	+	-	+	5000	100	30	0,5	10	20	80	2,5	2,4
87	+	+	+	+	-	+	-	+	2000000	100	30	0,5	10	20	80	4,4	4,4
88	+	-	-	-	+	+	-	+	5000	20	1	10	10	20	80	2,0	2,0
89	+	+	-	-	+	+	-	+	2000000	20	1	10	10	20	80	3,9	3,9
90	+	-	+	-	+	+	-	+	5000	100	1	10	10	20	80	2,1	2,2
91	+	+	+	-	+	+	-	+	2000000	100	1	10	10	20	80	4,3	4,3
92	+	-	-	+	+	+	-	+	5000	20	30	10	10	20	80	2,3	2,4
93	+	+	-	+	+	+	-	+	2000000	20	30	10	10	20	80	4,3	4,4
94	+	-	+	+	+	+	-	+	5000	100	30	10	10	20	80	2,4	2,5
95	+	+	+	+	+	+	-	+	2000000	100	30	10	10	20	80	4,9	5,0

Опыты	X ₀	План							Переменная состояния							Расчеты	
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂
96	+	-	-	-	-	-	+	+	5000	20	1	0,5	0,5	80	80	1,8	2,0
97	+	+	-	-	-	-	+	+	2000000	20	1	0,5	0,5	80	80	2,8	2,8
98	+	-	+	-	-	-	+	+	5000	100	1	0,5	0,5	80	80	2,0	2,0
99	+	+	+	--	-	-	+	+	2000000	100	1	0,5	0,5	80	80	3,1	3,2
100	+	-	-	+	-	-	+	+	5000	20	30	0,5	0,5	80	80	2,1	2,2
101	+	+	-	+	-	-	+	+	2000000	20	30	0,5	0,5	80	80	3,8	3,8
102	+	-	+	+	-	-	+	+	5000	100	30	0,5	0,5	80	80	2,2	2,3
103	+	+	+	+	-	-	+	+	2000000	100	30	0,5	0,5	80	80	4,4	4,5
104	+	-	-	-	+	-	+	+	5000	20	1	10	0,5	80	80	2,1	2,0
105	+	+	-	-	+	-	+	+	2000000	20	1	10	0,5	80	80	3,1	3,0
106	+	-	+	-	+	-	+	+	5000	100	1	10	0,5	80	80	2,4	2,4
107	+	+	+	-	+	-	+	+	2000000	100	1	10	0,5	80	80	4,0	4,1
108	+	-	-	+	+	-	+	+	5000	20	30	10	0,5	80	80	2,1	2,1
109	+	+	-	+	+	-	+	+	2000000	20	30	10	0,5	80	80	4,1	4,2
110	+	-	+	+	+	-	+	+	5000	100	30	10	0,5	80	80	2,3	2,4
111	+	+	+	+	+	-	+	+	2000000	100	30	10	0,5	80	80	4,6	4,6
112	+	-	-	-	-	+	+	+	5000	20	1	0,5	10	80	80	2,1	2,2
113	+	+	-	-	-	+	+	+	2000000	20	1	0,5	10	80	80	3,1	3,2
114	+	-	+	-	-	+	+	+	5000	100	1	0,5	10	80	80	2,5	2,4
115	+	+	+	-	-	+	+	+	2000000	100	1	0,5	10	80	80	4,1	4,2
116	+	-	-	+	-	+	+	+	5000	20	30	0,5	10	80	80	2,2	2,3
117	+	+	-	+	-	+	+	+	2000000	20	30	0,5	10	80	80	4,0	4,1
118	+	-	+	+	-	+	+	+	5000	100	30	0,5	10	80	80	2,4	2,4
119	+	+	+	+	-	+	+	+	2000000	100	30	,05	10	80	80	4,7	4,6
120	+	-	-	-	+	+	+	+	5000	20	1	10	10	80	80	2,0	1,9
121	+	+	-	-	+	+	+	+	200000	20	1	10	10	80	80	3,7	3,8
122	+	-	+	-	+	+	+	+	5000	100	1	10	10	80	80	3,4	3,4
123	+	+	+	-	+	+	+	+	2000000	100	1	10	10	80	80	4,0	3,9
124	+	-	-	+	+	+	+	+	5000	20	30	10	10	80	80	2,5	2,4
125	+	+	-	+	+	+	+	+	2000000	20	30	10	10	80	80	4,3	4,3
126	+	-	+	+	+	+	+	+	5000	100	30	10	10	80	80	2,5	2,5
127	+	+	+	+	+	+	+	+	2000000	100	30	10	10	80	80	4,9	4,9
128	+	+	+	-	-	-	+	-	2000000	100	1	0,5	0,5	80	20	4,5	4,6

2. Переменная состояния – сохраняемость, сут

Факторы:

 X_1 – температура хранения, °C X_2 – КМАФАнМ, КОЕ/г X_3 – плесневые грибы, КОЕ/г X_4 – дрожжи, КОЕ/г X_5 – перекисное число, мэкв/кг

Область определения факторов:

$$-4 \leq X_1 \leq 4$$

$$0 \leq X_2 \leq 10000$$

$$0 \leq X_3 \leq 50$$

$$0 \leq X_4 \leq 50$$

$$0 \leq X_5 \leq 10$$

Нулевые уровни:

$$X_{10} = 0$$

$$X_{20} = 5000$$

$$X_{30} = 25$$

$$X_{40} = 25$$

$$X_{50} = 5$$

Интервалы варьирования факторов:

$$\Delta X_1 = 1$$

$$\Delta X_2 = 5000$$

$$\Delta X_3 = 5$$

$$\Delta X_4 = 5$$

$$\Delta X_5 = 5$$

Таблица Д.2 – Матрица планирования и результаты эксперимента 3

Наименование	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Априорные сведения
Нулевой уровень X_{i0}	0	5000	25	25	5	
Интервал варьирования ΔX_i	4	5000	5	5	5	
Верхний уровень X_{iv}	4	10000	50	50	10	
Нижний уровень X_{in}	-4	0	0	0	0	

Опыты	X ₀	План					Переменная состояния					Расчеты		
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	+	-	-	-	-	-	-4	0	0	0	0	45	44	44
2	+	-	-	-	-	+	-4	0	0	0	10	39	40	39
3	+	-	-	-	+	-	-4	0	0	50	0	36	35	36
4	+	-	-	+	-	-	-4	0	50	0	0	38	38	37
5	+	-	+	-	-	-	-4	10000	0	0	0	36	36	37
6	+	+	-	-	-	-	4	0	0	0	0	39	40	40
7	+	+	+	-	-	-	4	10000	0	0	0	28	28	29
8	+	-	+	+	-	-	-4	10000	50	0	0	35	36	37
9	+	-	-	-	+	+	-4	0	0	50	10	32	33	32
10	+	+	-	-	-	+	4	0	0	0	10	31	32	33
11	+	+	-	-	+	-	4	0	0	50	0	29	28	29
12	+	+	-	+	-	-	4	0	50	0	0	28	28	29
13	+	+	+	-	-	+	4	10000	0	0	10	28	27	29
14	+	+	+	+	-	-	4	10000	50	0	0	28	29	29
15	+	-	+	+	+	-	-4	10000	50	50	0	30	30	31
16	+	-	-	+	+	+	-4	0	50	50	10	30	31	30
17	+	+	-	-	+	+	4	0	0	50	10	28	28	29
18	+	+	-	+	+	-	4	0	50	50	0	29	28	29
19	+	-	-	+	+	-	-4	0	50	50	0	33	32	34
20	+	-	+	-	+	+	-4	10000	0	50	10	29	30	30
21	+	+	+	-	+	-	4	10000	0	50	0	29	29	30
22	+	+	+	+	+	-	4	10000	50	50	0	31	31	30
23	+	-	+	+	+	+	-4	10000	50	50	10	30	29	29
24	+	+	-	+	+	+	4	0	50	50	10	27	28	28
25	+	+	+	-	+	+	4	10000	0	50	10	29	28	29
26	+	+	+	+	-	+	4	10000	50	0	10	28	27	28
27	+	+	+	+	+	+	4	10000	50	50	10	27	27	26
28	+	-	+	-	+	-	-4	10000	0	50	0	34	33	34
29	+	-	-	+	-	+	-4	0	50	0	10	30	30	31
30	+	-	+	-	-	+	-4	10000	0	0	10	29	31	30
31	+	+	-	+	-	+	4	0	50	0	10	29	30	29
32	+	-	+	+	-	+	-4	10000	50	0	10	30	30	31

Приложение Е
(справочное)

Отчет по определению биодоступности витаминов группы В

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека
Федеральное бюджетное учреждение науки
«ЕКАТЕРИНБУРГСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ - НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПРОФИЛАКТИКИ
И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ РАБОЧИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»
(ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП
Роспотребнадзора



М.П. Сутункова

«*28*» *апреля* 2023 г.

Отчёт по Договору № 90/03-23/011-223 от 13.01.2023 г.
на тему: «Определение биодоступности витамина группы В после употребления
двойной и прямой эмульсий»

Исполнители

Зав. Клиникой экспериментальных животных, к.б.н., руководитель исследования	 (подпись)	С.Н. Соловьева (введение, результаты исследования, заключение)
Научный сотрудник, сотрудник клиники экспериментальных животных, к.в.н., ветеринарный врач	 (подпись)	А.В. Абрамов (материалы и методы, результаты исследования)
Лаборант-исследователь, сотрудник клиники экспериментальных животных, исполнитель	 (подпись)	В.Р. Зайнетдинова (материалы и методы, результаты исследования)
Лаборант-исследователь, сотрудник клиники экспериментальных животных, ответственный исполнитель	 (подпись)	О.А. Важенина (материалы и методы, результаты исследования)
Инженер, сотрудник клиники экспериментальных животных, исполнитель	 (подпись)	Н.В. Ильина (материалы и методы, результаты исследования)
Работник по уходу за животными, сотрудник клиники экспериментальных животных	 (подпись)	А.П. Беломаз (материалы и методы)
Работник по уходу за животными, сотрудник клиники экспериментальных животных	 (подпись)	К.В. Чемезов (материалы и методы)

Реферат

Проведена экспериментальная работа на базе Клиники экспериментальных животных ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора по определению биодоступности витамина группы В после употребления двойной и прямой эмульсий. Работа по Договору № 90/03-23/011-223 от 13.01.2023 г. проведена в соответствии ГОСТ 33215-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур; ГОСТ 31886-2012 Применение Принципов GLP к краткосрочным исследованиям; Руководство по проведению доклинических исследований новых лекарственных средств. М.: Русский врач; 2005.

Экспериментальная работа рассмотрена и одобрена Локальным этическим комитетом ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. В качестве тест-объекта использованы белые лабораторные крысы-самцы линии Wister в количестве 34 особей. Введение изучаемых суспензий в дозе 0,12 мг на 1 мл. осуществлялось внутрижелудочным методом с помощью оральных зондов. Исследование проведено в 2 этапа: пилотный эксперимент, для определения оптимального периода биодоступности витамина В₁₂ (через 1, 2, 3 или 4 часа) и основной эксперимент с выбранным периодом биодоступности.

В Клинике экспериментальных животных проведены следующие мероприятия:

- карантинные мероприятия -14 дней
- адаптационный период - 5 дней (формирование экспериментальных групп)
- содержание животных: кормление, поение, чистка клеток
- ведение журналов (карантинные мероприятия, адаптационные мероприятия, динамика массы тела и состояния здоровья, микроклимат помещений)
- введение эмульсий при внутрижелудочном поступлении
- выведение животных путем неполной декапитации со взятием биоматериала
- утилизация биоматериала
- составление отчета о проделанной работе.

Приложение Ж
(справочное)

Балльная шкала оценки качества эмульсионных соусов

Показатель качества	Органолептическая характеристика	Оценка, балл
Внешний вид, консистенция	Однородный продукт с густой (сметанообразной) консистенцией с единичными пузырьками воздуха с наличием точечных вкраплений от горчицы.	5
	Однородный продукт с густой (сметанообразной) консистенцией с пузырьками воздуха с наличием точечных вкраплений от горчицы	4
	Однородный продукт с жидкой консистенцией с пузырьками воздуха с наличием точечных вкраплений от горчицы	3
	Неоднородный продукт с жидкой консистенцией с наличием значительных вкраплений от горчицы	2
	Неоднородный расслоившийся продукт	1
Вкус и запах	Гармоничные, слегка острый вкус, без следов горечи, свойственные продукту, без посторонних привкуса и запаха	5
	Недостаточно гармоничные, без следов горечи и посторонних привкуса и запаха	4
	Грубоватые, без следов горечи и посторонних привкуса и запаха	3
	Грубые, со следами горечи, без посторонних привкуса и запаха	2
	Несвойственные продукту, с наличием посторонних привкуса и запаха	1
Цвет	От светло-желтого до ярко-желтого, однородный по всей массе	5
	От светло-желтого до ярко-желтого, слегка неоднородный	4
	От светло-желтого до ярко-желтого с оттенками. Незначительная неоднородность по массе	3
	От светло-желтого до ярко-желтого, неоднородный по массе	2
	Неоднородный, несвойственный продукту	1

Приложение И
(справочное)

**Документы, отражающие результаты апробации, производственных
испытаний и внедрения результатов исследований**

ООО «Центр контроля качества»
Россия, 352344 Краснодарский край, Усть-Лабинский район,
ст. Некрасовская, ул. Чапаева, д.17
ИНН 2356049122, КПП 235601001, 8-861-35-78-2-19

Утверждаю:

Директор ООО «Центр контроля
качества»

Замятина Н.В.

2024 г.



Акт

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт составлен о том, что научные результаты, полученные Феофилактовой Ольгой Владимировной, а именно технологические решения по инкапсулированию биологически активных веществ с помощью двойных эмульсионных пищевых систем прошли апробацию на предприятии.

Результаты проведённых исследований имеют важное значение для обеспечения сохраняемости биологически активных веществ на всех этапах жизненного цикла готовой пищевой продукции.



Утверждаю

Генеральный Директор
ООО «Ман Восток»
«26» декабря 2023 г.

Акт

о внедрении результатов научных исследований

Настоящий акт составлен о том, что научные результаты, полученные Феофилактовой Ольгой Владимировной, а именно технологические решения по улучшению флейвора пищевых продуктов с помощью двойных эмульсионных систем, внедрены в виде рекомендаций.

Полученные в ходе апробации результаты подтвердили эффективность использования двойных эмульсионных систем, в которых функциональные биологически активные вещества находятся во внутренней фазе матрицы эмульсии, для нивелирования характерных неприятного запаха и послевкуся, например, рыбьего жира и витамина В1 (тиамина), и посторонних привкусов.

Генеральный Директор ООО «Ман Восток»

Фомин А.Н.





ООО «ПРО-питание» 620137 г. Екатеринбург, ул. Академическая, 16 "а"
офис 106, тел. /343/359-39-02

ИНН / КПП
ОГРН
ОКПО

6670278066 / 667001001
1096670037518
65050115

Утверждаю

Директор ООО «ПРО-питание»

Романов В.В.

«20» июня 2023 г.



Акт

Настоящий акт составлен о том, что апробированы и приняты к внедрению технологии биоактивных эмульсионных пищевых систем по ТУ 10.84.12-001-02069214-2024; ТУ 10.84.12-002-02069214-2024; ТУ 10.84.12-003-02069214-2024, разработанные доцентом кафедры технологии питания, канд. техн. наук, доцентом Феофилактовой О.В.

Выработаны опытные партии следующих эмульсионных соусов:

- эмульсионный биосоус в количестве 10 кг,
- эмульсионный соус, обогащенный омега-3 жирными кислотами в количестве 10 кг;
- крем на растительных маслах в количестве 10 кг.

Внедрение данных технологий позволяет расширить ассортимент эмульсионных соусов и кремов с высокими органолептическими характеристиками и повышенной пищевой ценностью.

Заведующий производством
ООО «ПРО-питание»

А.В. Криничный



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

СПРАВКА

25 июня 2024г.

№ 1/2507

г. Екатеринбург

О внедрении результатов диссертационного исследования Феофилактовой Ольги Владимировны на тему «Научно-практическое обоснование методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем» в учебный процесс ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Настоящая справка дана Феофилактовой Ольге Владимировне в том, что основные научно-методические положения, содержащиеся в диссертационном исследовании «Научно-практическое обоснование методологии разработки биоактивных эмульсионных пищевых систем», представленном на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 4.3.3. Пищевые системы, нашли применение в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» при подготовке магистров в рамках основной образовательной программы 19.04.04 «Технология продукции и организация общественного питания» (профили «Управление в индустрии питания», «Нутрициология в индустрии питания»), по дисциплине «Разработка функциональных продуктов питания».

Проректор по учебно-методической
работе и качеству образования



Д.А. Карх



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Я. П. Силин

08 февраля 2024 г.**ЭМУЛЬСИОННЫЙ БИОСОУС**

Технические условия
ТУ 10.84.12-001-02069214-2024
(Вводятся впервые)

Дата введения в действие - «*01*» *февраля* 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

2024 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству эмульсионного биосоуса

ТИ 10.84.12-001-02069214-2024

(Вводится впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«05» сентября 2024 г.

ЭМУЛЬСИОННЫЙ СОУС, БОГАЩЕННЫЙ ОМЕГА-3 ЖИРНЫМИ
КИСЛОТАМИ

Технические условия

ТУ 10.84.12-002-02069214-2024

(Вводятся впервые)

Дата введения в действие - «01» сентября 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. Феофилактова

Екатеринбург

2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«06» февраля 2024 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству эмульсионного соуса, обогащенного
омега-3 жирными кислотами

ТИ 10.84.12-002-02069214-2024

(Вводится впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«09» февраля 2024 г.

КРЕМ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ

Технические условия
ТУ 10.84.12-003-02069214-2024
(Вводятся впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.84.12

Группа Н 62
ОКС 67.200.10

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

2024 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству крема на растительных маслах

ТИ 10.84.12-003-02069214-2024

(Вводится впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.51.55

Группа Н 18
ОКС 67.100.99

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«01» февраля 2024 г.

СЫВОРОТОЧНЫЙ КОКТЕЙЛЬ С ВИТАМИНАМИ

Технические условия
ТУ 10.51.55-004-02069214-2024
(Вводятся впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.51.55

Группа Н 18
ОКС 67.100.99

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«01» февраля 2024 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству сывороточного коктейля с витаминами

ТИ 10.51.55-004-02069214-2024

(Вводится впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент
О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.86.10

Группа Н 71
ОКС 67.160.20

УТВЕРЖДАЮ


Ректор

Я. П. Силин
2024 г.**НАПИТОК НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ**

Технические условия
ТУ 10.86.10-005-02069214-2024
(Вводятся впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент О.В. ФеофилактоваЕкатеринбург
2024 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный экономический университет»
(УрГЭУ)

ОКПД2 10.86.10

Группа Н 71
ОКС 67.160.20

УТВЕРЖДАЮ

Ректор



Я. П. Силин

«09» февраля 2024 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
по производству напитка на растительной основе

ТИ 10.86.10-005-02069214-2024


(Вводится впервые)

Дата введения в действие - «01» февраля 2024 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»

доцент кафедры технологии питания,
кандидат технических наук, доцент

 О.В. Феофилактова

Екатеринбург
2024 г.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2416342

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БИОСОУСА

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный экономический университет" (ГОУ ВПО УрГЭУ) (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная группа "Приоритет" (ООО "НПГ "Приоритет") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2009147594**

Приоритет изобретения **21 декабря 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 апреля 2011 г.**

Срок действия патента истекает **21 декабря 2029 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов