

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»

На правах рукописи



Нагорных Елена Михайловна

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ
НА ПРИМЕРЕ ПЛАВЛЕННЫХ ПАСТООБРАЗНЫХ СЫРОВ**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
О. Н. Мусина

Барнаул – 2026

Оглавление

Введение	5
1 Аналитический обзор научно-технической литературы и патентной информации.....	14
1.1 Производство и потребление плавленых сыров в России и Алтайском крае	15
1.2 Актуальность разработки обогащенных и функциональных продуктов питания, в том числе плавленых сыров	19
1.3 Потенциал коллагена как ценного компонента пищевых систем	25
1.4 Потенциал пшеничных отрубей и лецитина как функциональных ингредиентов пищевых систем	29
1.5 Обзор цифровых инструментов (баз данных, компьютерных программ, нейросетей) для сыродельной отрасли	34
Заключение по главе 1	42
2 Организация работы, объекты и методы исследования.....	45
2.1 Организация работы и структура исследования	45
2.2 Объекты исследования.....	48
2.3 Методы исследования.....	50
3 Разработка информационной системы «Рецептуры плавленых сыров» и нейросетевой модели «Пищевые системы»	59
3.1 Разработка информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»	59
3.2 Машинное обучение нейросетевой модели «Пищевые системы»	65
3.2.1 Определение необходимого количества циклов обучения нейронной сети «Пищевые системы» и оценка стабильности модели обучения	69
3.2.2 Обучение нейронной сети «Пищевые системы» на наборе данных информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»	75

3.2.3 Валидация прогнозной способности нейронной сети «Пищевые системы» на модельных рецептурах плавленых пастообразных сыров.....	83
Заключение по главе 3	96
4 Разработка рецептур и технологии плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизированным коллагеном, лецитином подсолнечника и пшеничными отрубями.....	98
4.1 Оценка показателей качества сырья животного и растительного происхождения.....	98
4.2 Постановка полного факторного эксперимента, выявление приоритетных факторов и обоснование оптимального диапазона внесения коллагена, лецитина, отрубей в состав плавленого сыра	103
4.3 Исследование влияния гидролизованного коллагена на аминокислотный состав плавленого пастообразного сыра.....	112
4.4 Исследование влияния гидролизованного коллагена на изменения микроструктуры плавленого пастообразного сыра	122
4.5 Исследование влияния гидролизованного коллагена на реологические характеристики плавленого пастообразного сыра	138
4.6 Технология плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизированным коллагеном, пшеничными отрубями и лецитином подсолнечника.....	146
Заключение по главе 4	156
Заключение.....	158
Список сокращений и условных обозначений	162
Список литературы	163
Приложение А Свидетельство на компоненты информационной системы «Рецептуры плавленых сыров» и на программу для обучения нейросети	198
Приложение Б Руководство пользователя информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»	201

Приложение В Циклы обучения нейросети «Пищевые системы» от 8 до 5000 эпох, оценка стабильности модели обучения	213
Приложение Г Микроструктурные исследования образцов плавленого сыра ...	222
Приложение Д Титульные листы НД	225
Приложение Е Протоколы органолептической оценки.....	227
Приложение Ж Оптимизация трехфакторной регрессионной модели.....	236
Приложение И Акты промышленной апробации и внедрения	240

Введение

Актуальность работы. Указом Президента России от 21.01.2020 № 20 утверждена Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации на период 2020–2030 гг. Важный этап реализации Доктрины – разработка новых продуктов питания улучшенного качества, в том числе функциональных и обогащенных. Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (указ Президента России от 28.02.2024 № 145) определены актуальные приоритеты научно-технологического развития страны, позволяющие создать отечественные наукоемкие технологии и обеспечивающие «эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания; переход к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении технологий машинного обучения и искусственного интеллекта» [129]. Прогнозирование заданных свойств пищевых систем – важная задача, эффективность решения которой в значительной степени зависит от используемого инструментария, самым современным из которого являются нейросетевые технологии и искусственный интеллект.

Разработка отечественного цифрового инструментария (баз данных, компьютерных программ, нейросетей) для создания инновационной пищевой продукции особенно актуальна на базе продуктов, входящих в повседневный рацион и пользующихся спросом у потребителей, таких как плавленый сыр – его технология позволяет эффективно управлять составом путем введения различных ингредиентов, относительно низкая стоимость плавленого сыра делает его доступным источником нутриентов для всех групп населения.

Таким образом, разработка и демонстрация эффективности цифровых технологий для прогнозирования свойств пищевых систем на примере плавленого сыра представляют собой актуальное и перспективное направление.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами моделирования свойств пищевых систем, в том числе с использованием соответствующего цифрового инструментария, нейросетевых технологий, машинного обучения и других возможностей искусственного интеллекта, активно занимаются российские и зарубежные ученые: А.А. Борисенко, Н.И. Дунченко, И.А. Евдокимов, Л.А. Забодалова, Ю.А. Ивашкин, О.Н. Красуля, А.Б. Лисицин, М.А. Никитина, Е.Д. Рожнов, В.В. Садовой, В.К. Семипятный, М.Н. Школьникова, С.Б. Юдина, Р. Freire, G.K. Goyal, S. Goyal, A. Kaczmarek, C.C. Licon и др. Большой теоретический и практический вклад в развитие технологии поликомпонентных молочных продуктов, в том числе плавленых сыров, внесли Н.Б. Гаврилова, С.В. Гудков, З.Х. Диланян, А.В. Дунаев, Н.П. Захарова, Т.Н. Иванова, И.А. Ивкова, В.В. Калабушкин, Т.М. Коновалова, О.В. Лепилкина, Е.А. Молибога, Е.А. Орлова, Т.А. Остроумова, В.М. Позняковский, В.Ф. Роздова, Ю.Я. Свириденко, А.П. Симоненкова, Н.Ю. Соколова, Р.Т. Тимакова, О.С. Чеченихина, R.F. Fox, T.P. Guinee, D. Kannar, R. Kapoor, P.L.H. McSweeney, L.E. Metzger, C. Selomulya, G. Talbot-Walsh, A.Y. Tamime, P. Upreti и др. Несмотря на значительный вклад российских и зарубежных ученых в развитие научного направления, остается неизученной возможность использования цифрового инструментария и нейросетевых технологий для прогнозирования заданных свойств пищевых систем.

Анализ научно-технической и патентной литературы свидетельствует об актуальности избранной темы, в связи с чем сформулирована **цель работы** – разработка и валидация информационной системы и нейросетевой модели для прогнозирования органолептических свойств плавленых пастообразных сыров при проектировании их рецептур.

Цель диссертационной работы направлена на решение важной государственной задачи по созданию безопасных и качественных продуктов питания путем совершенствования рецептур с использованием передовых технологий проектирования высокотехнологичной продукции, основанных на применении технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, что соответствует при-

оритетам, указанным в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (п. 21, подп. «а» и «г»).

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1) провести аналитический обзор российского и зарубежного опыта применения цифровых инструментов (баз данных, нейросетей) в сыроделии и пищевой промышленности;

2) разработать информационную систему «Рецептуры плавленых сыров» (базу данных более чем на 800 рецептов и программу управления), обеспечивающую поиск, фильтрацию и замену ингредиентов;

3) разработать и обучить нейросеть «Пищевые системы» для прогнозирования органолептической оценки рецептов, определить параметры машинного обучения (достоверность прогноза нейросети не ниже 80 %), провести валидацию на модельной линейке плавленых сыров;

4) выбрать на основе предиктивной аналитики нейросети «Пищевые системы» перспективную рецептуру плавленого пастообразного сыра и оптимизировать ее методами математического моделирования;

5) провести комплексную оценку свойств разработанного сыра «Сырме», установить срок годности, утвердить нормативную документацию и апробировать в промышленных условиях предложенные решения.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 5, 15, 19 Паспорта научной специальности 4.3.3.

1. Впервые предложен и реализован комплексный цифровой инструментарий для проектирования пищевых систем, включающий информационную систему «Рецептуры плавленых сыров» (база данных на 869 рецептов с открытой архитектурой и программа управления), обеспечивающую поиск, фильтрацию по заданным критериям и автоматизированную замену ингредиентов (п. 5, 19 паспорта).

2. Разработана, обучена и валидирована нейросетевая модель «Пищевые системы» для прогнозирования органолептической оценки рецептов с достоверностью не менее 80 %, проведена оценка робастности цифрового инструмента в условиях неопределенности и доказана эффективность работы нейросети на

примере модельной линейки из 14 плавленых пастообразных сыров (п. 19 паспорта).

3. Впервые установлено влияние гидролизованного коллагена на свойства плавленого пастообразного сыра: аминокислотный профиль (появление гидроксипролина, увеличение глицина на 128,6 %, пролина на 18,4 %); микроструктуру (уменьшение среднего размера жировых глобул на 44 %, снижение пористости белковой матрицы на 20 %) и реологические характеристики (увеличение вязкости на 40 %, сопротивления деформации на 48 % при сохранении пластичности). Предложен механизм действия коллагена как многофункционального модификатора структуры плавленого пастообразного сыра, обеспечивающего формирование гибридной казеин-коллагеновой матрицы, стабилизацию жировой эмульсии и равномерное распределение водной фазы (п. 15 паспорта).

Новизна технических решений подтверждена свидетельствами о государственной регистрации базы данных и двух программ для ЭВМ.

Основные положения, выносимые на защиту:

– компоненты информационной системы «Рецептуры плавленых сыров» (логическая и физическая модели базы данных, программа управления) обеспечивающие автоматизированный поиск, фильтрацию рецептов по задан критериям и интеллектуальную замену ингредиентов;

– параметры машинного обучения нейросети «Пищевые системы», обеспечивающие стабильность модели и высокую достоверность прогноза;

– результаты оценки эффективности работы нейросети «Пищевые системы»;

– обоснование использования в составе плавленых сыров гидролизованного коллагена как многофункционального компонента, улучшающего микроструктуру, реологические свойства продукта и его аминокислотный профиль;

– состав и соотношение компонентов плавленого сыра с гидролизированным коллагеном, пшеничными отрубями и лецитином подсолнечника.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость заключается в расширении и систематизации знаний об использовании цифровых инструментов для сбора, обработки, анализа

данных о пищевых системах, прогнозирования их свойств и повышения эффективности работы с рецептурным портфелем в пищевой промышленности. Дано научное обоснование механизма действия гидролизованного коллагена как многофункционального модификатора свойств плавленых пастообразных сыров, подтвержденное экспериментально.

Практическая значимость. Материалы исследований использованы при разработке технологии и рецептуры плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизанным коллагеном, пшеничными отрубями, лецитином подсолнечника, утвержден комплект нормативной документации (СТО 02067824-006-2023 и технологическая инструкция к СТО). Предложена линейка рецептур (14 наименований) на базе сыра «Сырте». Сформулированы практические рекомендации по использованию гидролизованного коллагена в составе плавленых сыров.

Технология сыра «Сырте» (СТО 02067824-006-2023) апробирована в производственных условиях и внедрена в промышленное производство на базе ООО «Сибирское подворье» (г. Барнаул, Алтайский край, Российская Федерация).

Разработан цифровой инструментарий, включающий в себя нейросетевую модель «Пищевые системы» (№ 2023684297 от 14 ноября 2023 г.), информационную систему «Рецептуры плавленых сыров», включающую «Программу для управления электронным справочником рецептур плавленых сыров» (№ 2023618007 от 18 апреля 2023 г.), и базу данных «Рецептуры плавленых сыров» (№ 2023620806 от 6 марта 2023 г.). База данных «Рецептуры плавленых сыров» внедрена в работу лаборатории «Центр комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт»; разработанный цифровой инструментарий используется в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторных работ и практических занятий для бакалавров, магистров и аспирантов, обучающихся по направлениям 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения», 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения», 19.04.04 «Технология продукции и организация общественного питания», 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии» Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Пол-

зунова» (АлтГТУ). Компьютерные программы «Программа для управления электронным справочником рецептур плавленных сыров» и «Программа для обучения нейросети «Пищевые системы»» внедрены в Испытательном центре пищевых продуктов инжинирингового центра «ХимБиоМаш» ФГБОУ ВО «АлтГТУ».

Разработанный цифровой инструментарий решает ряд народнохозяйственных задач. Информационная система дает возможность реализовать новый технологический подход к управлению рецептурным портфелем сыродельного предприятия через использование цифровых технологий, в том числе для анализа рецептур плавленных сыров на основе различных критериев и их сочетаний, а также для оперативного решения задач взаимозаменяемости сырья. Цифровой инструмент «Пищевые системы» за счет снижения количества необходимых натуральных экспериментов ускоряет процесс проектирования рецептур пищевых систем, что способствует экономии временных, ресурсных (сырье, электроэнергия, труд) и финансовых затрат, позволяет сократить период разработки и вывода плавленных сыров на рынок, а также ускорить оптимизацию ассортимента предприятия.

Материалы исследований и разработанный цифровой инструментарий используются при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров, диссертаций магистров и аспирантов по направлению 19.03.03, 19.04.03, 19.04.04, 19.06.01 Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии АлтГТУ.

Отдельные результаты диссертационной работы получены и в дальнейшем использованы на различных этапах реализации следующих научно-исследовательских проектов:

– в 2020–2023 гг. – «Создание наилучших доступных технологий производства функциональных продуктов питания на основе фундаментальных исследований, глубокой переработки сырья животного и растительного происхождения с использованием инструментария цифровой экономики» (ГЗ № 075-00316-20-01 по Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, регистрационный номер НИОКТР 122012700036-4);

– в 2024–2026 гг. – «Научное обоснование нутрициологической поддержки групп населения, находящихся под воздействием экстремальных факторов, на

примере импортозамещающих пищевых систем для Арктической зоны Российской Федерации» (ГЗ № 075-00042-24-00 по Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, регистрационный номер НИОКТР 124013000666-5).

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность подтверждается выбором современных методов анализа, проведением исследований в аккредитованных лабораториях на сертифицированном оборудовании, промышленной апробацией, использованием методов статистической обработки полученных экспериментальных данных. О достоверности результатов свидетельствует представительная выборочная совокупность экспериментальных данных и применение соответствующих методов их математической обработки.

Основные положения работы доложены и обсуждены на конференциях и форумах различного уровня, в том числе на международном научно-практическом форуме «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Евразии» (Улаанбаатар, 2023); международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы индустриально-инновационного развития агропромышленного комплекса республики Казахстан» (Семей, 2022); международной научно-практической конференции «Қолданбалы биотехнологияның өзекті мәселелері» (Павлодар, 2023); международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество» (Краснообск, 2021); международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, 2022); международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств» (Барнаул, 2022; 2023); международной научно-практической конференции «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Барнаул, 2022); всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Потребительский рынок: устойчивое развитие в условиях новых вызовов» (Новосибирск, 2022); международной научно-практической конференции «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности» (Бийск, 2023); всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Региональные рынки

потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса» (Красноярск, 2022); всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Пищевые инновации и биотехнологии» (Кемерово, 2023); всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Пищевые технологии и биотехнологии» (Казань, 2023); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии» (Оренбург, 2023); международной научно-практической конференции «Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование» (Курск, 2026).

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 26 работах, в числе которых семь статей в журналах из Перечня ВАК; две статьи в изданиях, индексируемых в Scopus; 14 статей в сборниках конференций; одна база данных и две программы для ЭВМ.

Личное участие автора на всех стадиях работы состояло в постановке цели и задач исследований, выполнении экспериментов, статистической обработке результатов, разработке цифрового инструментария для достижения поставленной цели, формулировании заключения и выводов, проведении апробации результатов исследований, подготовке публикаций на основе полученных данных. Представленная работа является обобщением научных исследований, проведенных с 2021 по 2026 г. лично автором или при его непосредственном участии на всех этапах выполнения диссертации.

Методология и методы исследования. Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых в области технологии плавленых сыров, в том числе функциональных и обогащенных, а также по вопросам применения нейросетевых технологий в пищевой отрасли. Для решения поставленных задач применялись стандартные и специальные методы (анализ, синтез, обобщение, биохимические, физико-химические, реологические, хроматографические, микробиологические и органолептические методы исследований, математическое моделирование, методы математической статистики). В процессе разработки информационной системы и обучения нейросети использованы следующие

методы: методы машинного обучения, методы извлечения и анализа данных, включая методы системного анализа, методы аналитической обработки информации, методы объектно-ориентированного программирования, методы оптимизации; аппарат нечеткой логики, инструменты и методы программной инженерии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения и четырех глав, в том числе аналитического обзора литературы, методологической части, результатов собственных исследований и их анализа, заключения, списка литературы, приложений. Основной текст изложен на 197 страницах, содержит 25 таблиц и 49 рисунков; список литературы включает 290 наименований, в том числе 95 на иностранных языках.

1 Аналитический обзор научно-технической литературы и патентной информации

Президентом и Правительством России утверждены документы, касающиеся долгосрочного развития пищевой и перерабатывающей промышленности, такие как Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (указ Президента России от 02.07.2021 № 400), Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (указ Президента России от 21.01.2020 № 20), Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (постановление Правительства России от 14.07.2012 № 717), Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (распоряжение Правительства России от 29.06.2016 № 1364-р), Национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 г. (указ Президента России от 21.07.2020 № 474), Национальные цели и стратегические задачи развития Российской Федерации на период до 2024 г. (указ Президента России от 07.05.2018 № 204), а также ряд нормативных правовых документов, регулирующих государственную политику в области здорового питания населения и стратегию развития пищевой и перерабатывающей промышленности страны. В Справочнике по наилучшим доступным технологиям [154] представлена информация о состоянии и уровне развития молочной промышленности в стране, выделены приоритетные направления в области производства сыров, в том числе создание технологий и развитие производства сыров с улучшенной пищевой и биологической ценностью для определенных категорий потребителей и сфер использования.

1.1 Производство и потребление плавящихся сыров в России и Алтайском крае

Статистическая информация для настоящего раздела получена из открытых источников – данных Федеральной службы государственной статистики, Федеральной таможенной службы, Управления Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республики Алтай.

В соответствии с рациональными нормами [131], в среднем потребление молока и молочных продуктов (в пересчете на молоко) в год на одного человека должно составлять 325 кг, в разрезе видов молочных продуктов информация представлена на рисунке 1.

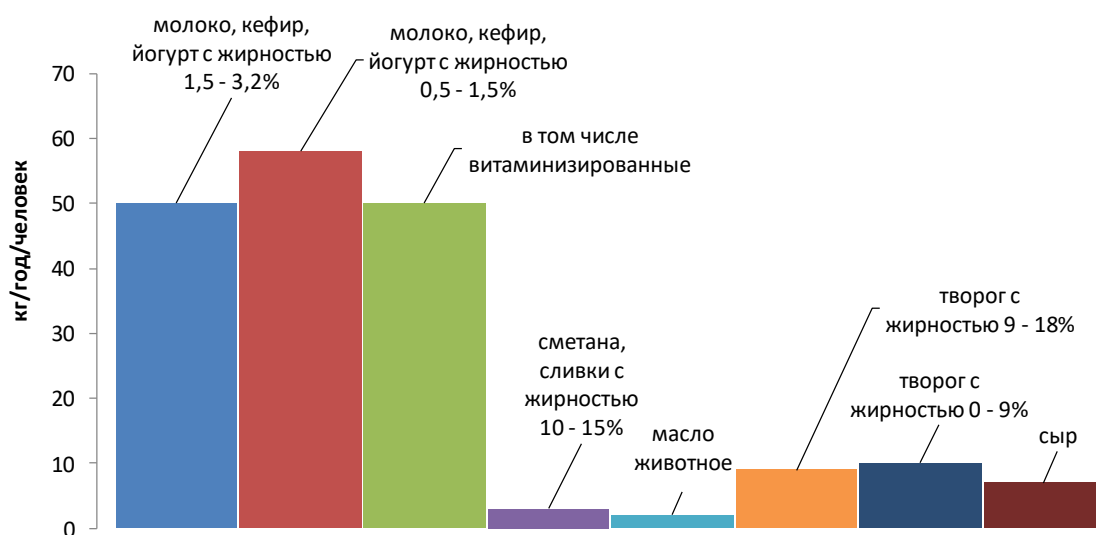


Рисунок 1 – Нормы потребления молока и молочных продуктов для здорового питания

Фактическое потребление молока и молочных продуктов на душу населения в Сибирском федеральном округе и Алтайском крае выше, чем в среднем по Российской Федерации (рисунки 2 и 3), молочная отрасль края активно развивается [73; 149]. Однако достижения рациональных норм потребления молока и молочных продуктов за последние 10 лет не произошло ни в целом по России, ни по Сибирскому федеральному округу, ни в Алтайском крае – одном из лидеров страны по производству и переработке молока.

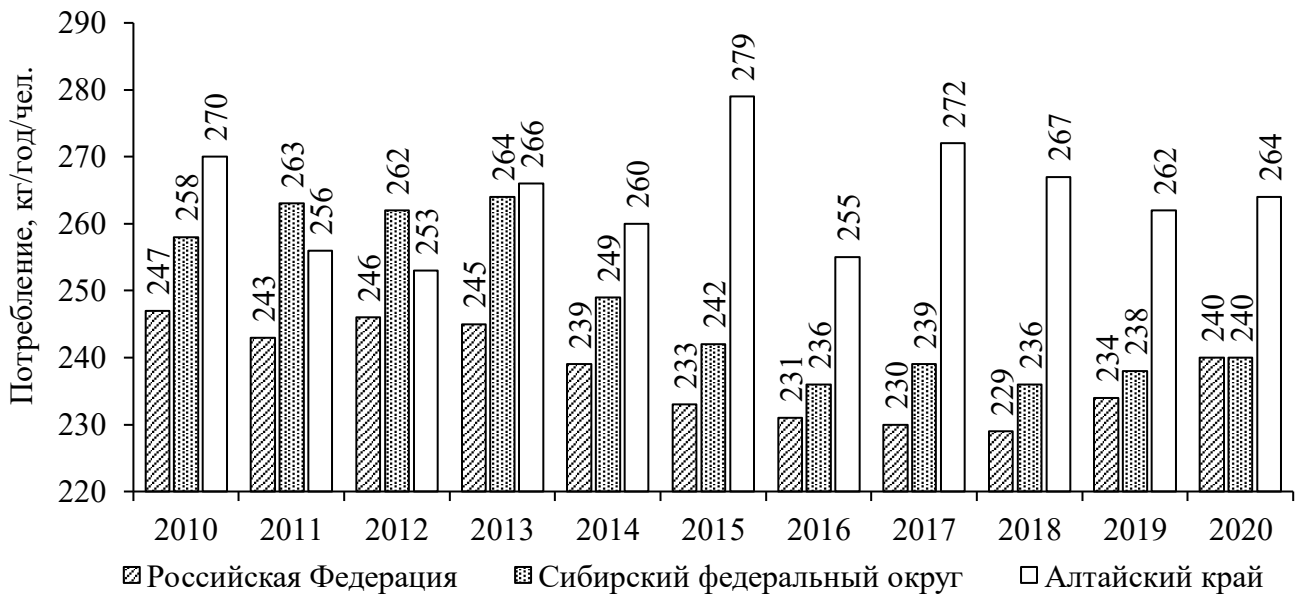


Рисунок 2 – Динамика потребления молока и молочных продуктов на душу населения

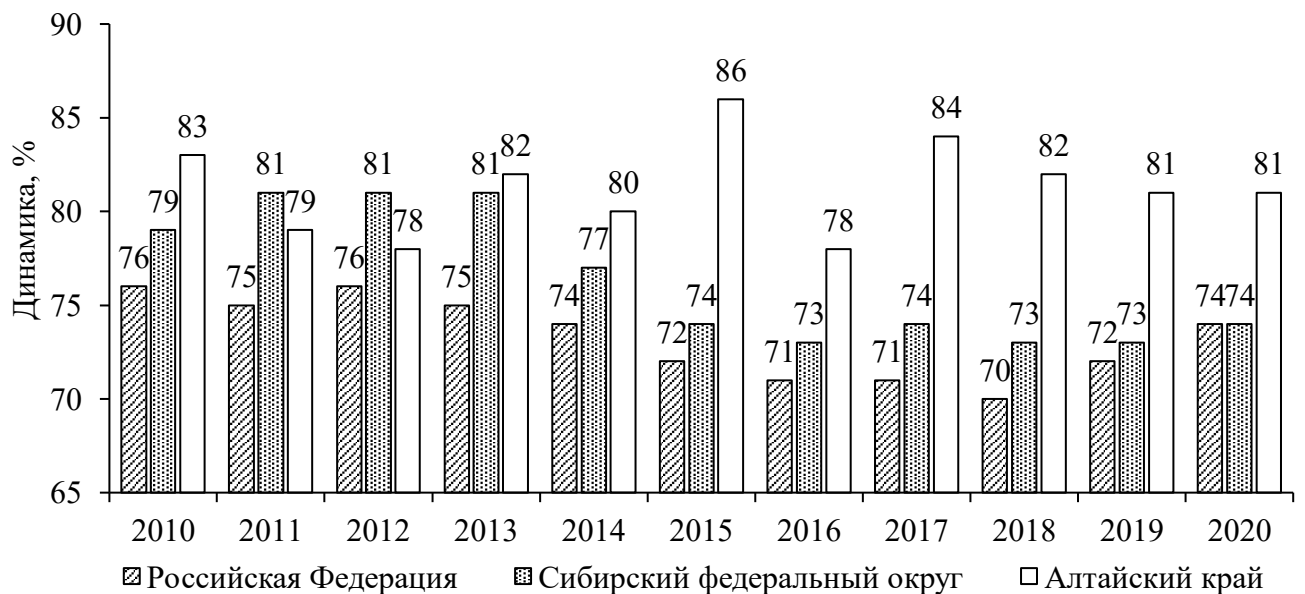


Рисунок 3 – Динамика потребления молока и молочных продуктов на душу населения

Динамика поголовья коров по стране в целом и в Алтайском крае в частности представлена практически одинаковой линией тренда (рисунок 4), поголовье коров стабильно падало с тенденцией к выходу на равновесную величину [177; 179]. При этом в целом по России происходит увеличение объемов производства как молока, так и сыров [179].

Алтайский край входит в пятерку регионов-лидеров по производству и переработке молока и находится на лидирующих позициях по производству сыров.

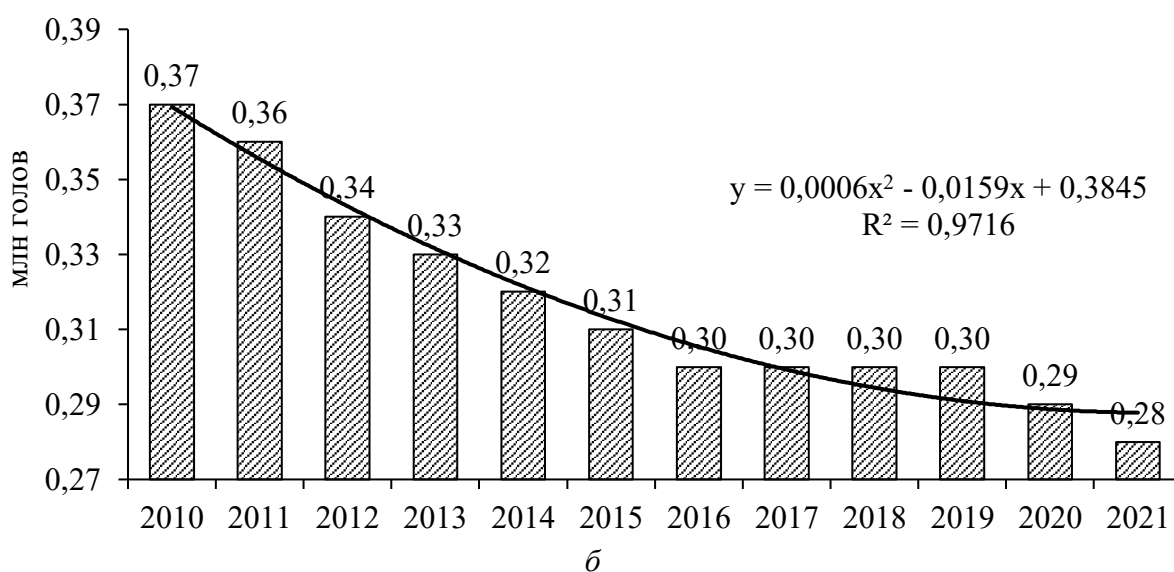
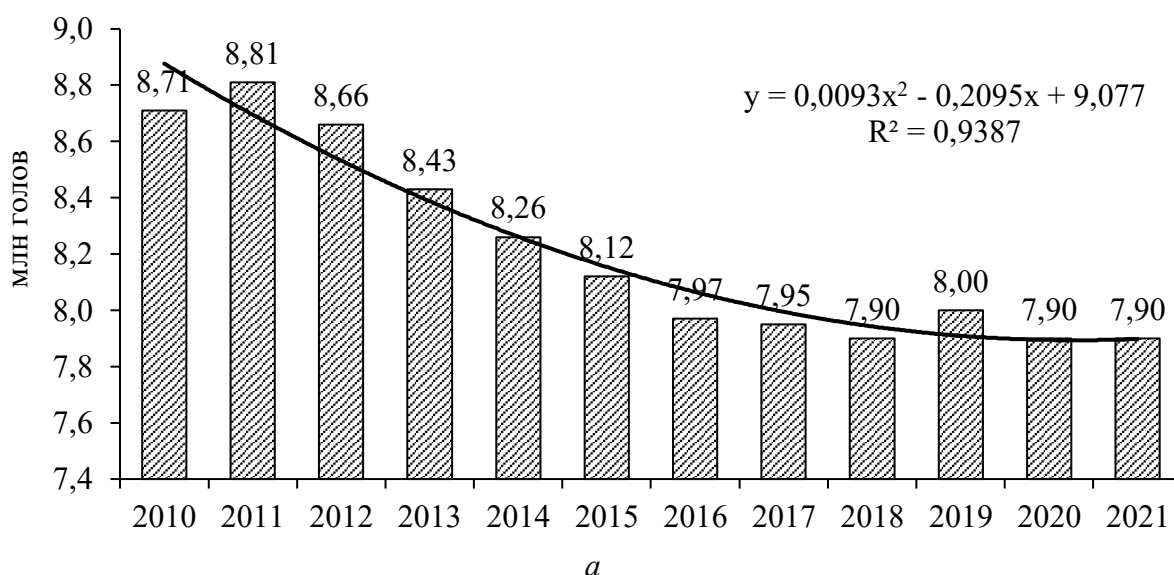


Рисунок 4 – Динамика поголовья коров в Российской Федерации (*a*) и Алтайском крае (*б*)

Наблюдается тенденция к увеличению производства плавленых сыров всех видов (пастообразных, ломтевых, копченых, с немолочными компонентами и без компонентов и ароматизаторов, сухих, копченых, пастеризованных, стерилизованных) с положительной динамикой прогноза (рисунок 5, *a*).

Алтайский край многие годы сохраняет первенство в стране по производству сыров [177; 179]. При этом в крае уже через год-два после введения эмбарго объемы производства плавленых сыров возросли в разы и достигли равновесной величины, что свидетельствует о тенденции к импортозамещению этого продукта и насыщению рынка (рисунок 5, *б*).

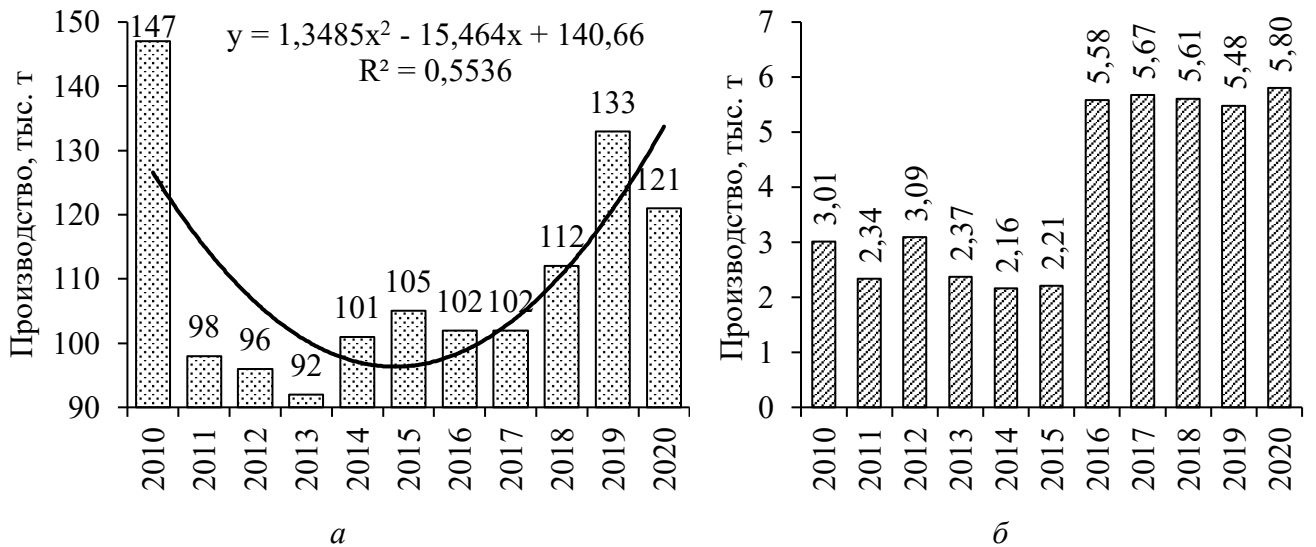


Рисунок 5 – Производство плавленых сыров всех видов в Российской Федерации (а) и Алтайском крае (б)

По данным Федеральной таможенной службы [180], наибольший объем экспорта плавленых сыров из России приходится на Казахстан (рисунок 6). На втором месте Беларусь также с практически постоянной цифрой. Из Алтайского края плавленые сыры экспортируются главным образом в Казахстан и Кыргызстан.

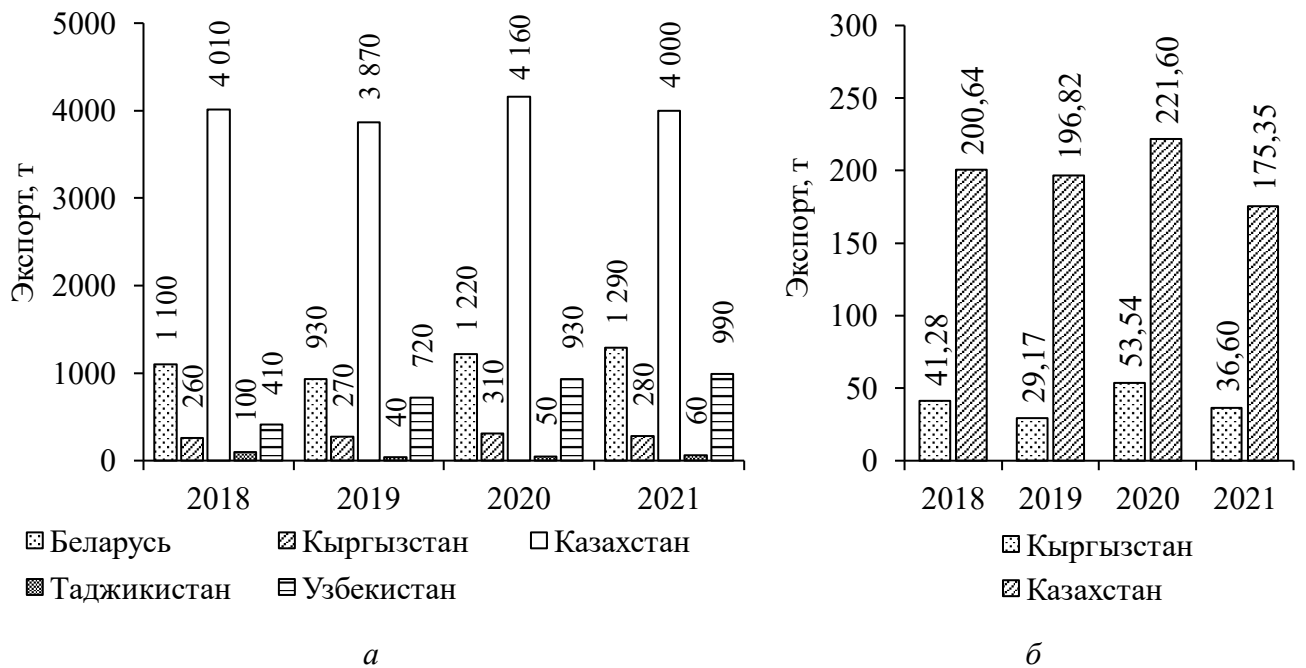


Рисунок 6 – Страны – экспортеры плавленых сыров из Российской Федерации (а) и Алтайского края (б)

При этом в натуральном выражении экспорт плавленых сыров из России в несколько раз превышает величину импорта (таблица 1), что положительно характеризует конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

Таблица 1 – Показатели внешнеэкономической деятельности по Российской Федерации

Показатель	Объем, тыс. т			
	2018	2019	2020	2021
Импорт сыров	2,29	2,74	3,61	2,75
Экспорт сыров	8,67	8,90	10,16	9,90

Объемы производства молочной продукции в Алтайском крае полностью покрывают потребности его населения, ввоз сыров в регион из года в год уменьшается, а вывоз – увеличивается.

В целом молочная отрасль страны демонстрирует стабильные показатели на протяжении ряда последних лет, что позволяет положительно оценить вероятность выполнения задачи по самообеспечению страны плавлеными сырами в рамках Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации.

1.2 Актуальность разработки обогащенных и функциональных продуктов питания, в том числе плавленых сыров

Продовольственное обеспечение населения является одной из главных задач государства [90]. Указом Президента России от 21.01.2020 № 20 утверждена Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации на период 2020–2030 гг. [130], в которой подчеркивается необходимость обеспечения полноценного питания населения для профилактики заболеваний, повышения качества и продолжительности жизни. Ключевым направлением реализации Доктри-

ны являются инновационные разработки продуктов питания улучшенного качества, в том числе функциональных и обогащенных.

Функциональные пищевые продукты (ФПП) – это продукты, предназначенные для систематического употребления и способные снижать риск заболеваний, связанных с питанием, а также сохранять и улучшать здоровье за счет содержания физиологически функциональных пищевых ингредиентов [54]. ФПП должны быть безопасными, удобными в использовании, обладать приемлемыми органолептическими свойствами и оказывать оздоровительный эффект при регулярном потреблении [111; 156].

Согласно ТР ТС 021/2011, обогащенная пищевая продукция – это продукция, в которую введены пищевые и (или) биологически активные вещества и (или) пробиотические микроорганизмы, отсутствующие или недостаточно представленные в исходном продукте [128]. Содержание этих компонентов должно соответствовать установленным критериям и не превышать верхние безопасные уровни потребления. По определению ГОСТ Р 52349, «обогащенный пищевой продукт – это ФПП, получаемый добавлением одного или нескольких функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам с целью предотвращения возникновения или исправления имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ» [54]. В качестве функциональных ингредиентов могут использоваться витамины, макро- и микроэлементы, незаменимые аминокислоты, олигосахариды, минеральные вещества, пищевые волокна, пробиотики и др. [50; 117].

Тема здорового питания актуальна среди всех категорий населения [92; 112]. Так как питание играет одну из важнейших ролей в поддержании нормального физиологического состояния организма, многие потребители выбирают те продукты, которые могут оказывать положительное воздействие на поддержание их здоровья, т.е. функциональные пищевые продукты [168; 191; 240; 265; 272]. Естественный путь восполнения уровня недостающих веществ в организме человека – это употребление продуктов питания, которые их содержат в достаточном количестве [183].

Современная структура питания населения России характеризуется дисбалансом основных нутриентов и дефицитом биологически активных веществ, включая пищевые волокна, витамины (С, группы В), микроэлементы (железо, кальций), белок и полиненасыщенные жирные кислоты [92; 136; 155; 159]. Большинство россиян употребляет недостаточное количество рыбы, молочных продуктов, овощей и фруктов. При этом наблюдается избыточное потребление хлебобулочных изделий, сахара и жиров, что способствует развитию ожирения, сахарного диабета, атеросклероза и других неинфекционных заболеваний [63; 72; 141]. По данным Всемирной организации здравоохранения, Россия входит в число стран с большой долей населения с избыточной массой тела и ожирением [4; 27; 160].

Нерациональное питание ассоциировано с повышенным риском онкологических, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, а также аллергических состояний [17; 141]. В этих условиях рациональное питание, адаптированное к возрасту, полу, состоянию здоровья и уровню физической активности, становится необходимым условием поддержания здоровья [46; 59; 222]. Около 60 % населения нуждается в дополнительном специализированном питании, способном уменьшить негативное воздействие различных факторов окружающей среды и питания [56; 82; 86; 93]. Сейчас потребитель стал более осознанно подходить к своему рациону, отдавая предпочтение продукции, которая, помимо пластических веществ, содержит в своем составе функциональные ингредиенты [30; 46; 134; 178].

ФПП способствуют повышению устойчивости к внешним стрессорам, укреплению иммунитета, улучшению пищеварения, нормализации сосудистого тонуса и артериального давления [52]. Растущий спрос на такие продукты стимулирует расширение их ассортимента на рынке [2; 191; 267]. Основой технологии ФПП является модификация традиционных продуктов с доведением содержания функциональных ингредиентов до физиологически значимых уровней [68; 146].

Однако разработка ФПП сопряжена с рядом требований: продукт должен быть безопасным, обладать высокими потребительскими свойствами (вкус, аромат, консистенция, внешний вид) и сохранять функциональную ценность в течение

ние всего срока годности, который желательно максимизировать для производителей и торговых сетей [2; 30; 84; 128]. Вместе с тем на рынке наблюдается тенденция к маркетинговому позиционированию обычных продуктов как функциональных без реального подтверждения их свойств [11; 115].

Для расширения ассортимента ФПП, в том числе молочных, необходим поиск новых видов сырья [111; 184]. Особенно перспективны растительные добавки, способные восполнять дефицит нутриентов и повышать резистентность организма к неблагоприятным факторам среды [59; 226; 266; 269]. В последние десятилетия активно развивается индустрия применения биологически активных добавок в производстве ФПП [30; 175; 200; 227].

Молочные продукты занимают одну из лидирующих позиций в рационе человека [144; 247; 267]. Значительную долю (до 65 %) среди ФПП занимают молочные продукты [38; 144; 247; 267]. Особое место в данной категории продуктов принадлежит сырам, в том числе плавленым. При разработке новых функциональных молочных продуктов роль наполнителей как животного, так и растительного происхождения становится все более важной. Основной целью при производстве ФПП является повышение их биологической, пищевой и технологической ценности [69; 262; 276].

На современном этапе развития науки и техники разработка новых молочных продуктов, позволяющих предотвращать алиментарно-зависимые заболевания, по-прежнему актуальна [69; 121; 228].

Сыр – важный источник биологически ценного белка, незаменимых аминокислот, витаминов, солей кальция и фосфора, необходимых для нормального развития организма человека [19; 51; 106; 143; 173; 184]. Сыр представляет собой готовый к употреблению продукт и не требует дополнительной температурной обработки, что делает его неотъемлемой частью рациона [5; 143; 186]. Одной из разновидностей сырной продукции являются плавленые сыры [193; 238]. Впервые плавленый сыр был изготовлен в 1911 г. швейцарцем В. Гербером, в 1916 г. Дж. Крафтом был запатентован собственный метод производства плавленого сыра, а в 1950 г. плавленый сыр был впервые выпущен в продажу [163].

В качестве основного сырья для плавленых сыров используют сычужные сыры, творог, рассольные сыры, сыворотку, сухое цельное и обезжиренное молоко, сливочное и топленое масло, сухую пахту [35; 170].

На сегодняшний день плавленые сыры занимают устойчивую позицию на российском рынке. По оценкам, в 2018–2022 гг. продажи плавленых сыров в Российской Федерации увеличились на 34,1 % [116; 132]. Отличительной характеристикой плавленых сыров, делающих их популярной категорией товаров в потребительской корзине, является широкий ассортимент [8; 57; 62].

Технологический процесс производства плавленых сыров позволяет целенаправленно управлять их составом и свойствами путем введения различных ингредиентов, в том числе функциональных, в результате чего удается не только повысить их биологическую и пищевую ценность, но и расширять ассортимент [113].

На сегодняшний день имеется достаточно много разработок по обогащению плавленых сыров различными функциональными ингредиентами.

Местное дикорастущее сырье является перспективным сырьевым компонентом для получения обогащенных биологически активными веществами плавленых сыров [103]. В диссертационной работе Л.Н. Азолкиной [1] описана разработка плавленых сыров, получивших названия «Сибирский» и «Витаминный», обогащенных растительным компонентом из смеси клюквы, крапивы, черемши, щавеля и шиповника. Отличие этих сыров в том, что первый вырабатывался с использованием суспензии растительного сырья, а второй – с концентратом растительного сырья. В Кемеровском государственном университете разработана технология плавленого сыра «Ранетка» с использованием мелкоплодных яблок в качестве функционального ингредиента [102]. На базе Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана были проведены эксперименты по введению в рецептуру плавленого сыра сухой смеси ягод клюквы, шиповника и листьев крапивы, что позволило не только получить пищевой продукт, обогащенный витаминами, микроэлементами и пищевыми волокнами, но также увеличить продолжительность хранения и улучшить органолептические свойства сыра [56]. Сотрудниками Дальневосточного государственного аграрного универ-

ситета разработана рецептура функционального плавленого сыра с введением в его состав сока брусники и отвара боярышника [47]. Казахстанскими исследователями представлены данные об использовании сухой смеси плодов шиповника, клюквы и куркумы для производства плавленого сыра функционального назначения. Авторами отмечено, что включение 2–5 % растительных добавок увеличивает срок хранения, улучшает органолептические, физико-химические показатели и пищевую ценность плавленого сыра и не требует изменений в технологическом процессе [224]. Технология плавленого сыра с использованием такого функционального ингредиента, как облепиховое пюре в количестве 10 %, была разработана сотрудниками Донского государственного аграрного университета [64]. Исследования по применению плодов облепихи в производстве плавленого сыра проводились также сотрудниками Государственного университета Шакарима [24; 167].

Диссертационная работа В.А. Давыденко [58] содержит результаты исследований по применению в технологии плавленых сыров овощного сырья: морковной, морковно-свекольной, тыквенной суспензий, а также суспензии из смеси тыквы, баклажанов и кабачков.

Применение фитодобавок на основе спирулины и эламина в технологии плавленого сыра предложено в работе М. V. Kozak с соавторами [239]. Рецептура плавленого сыра «Ивано-Франковск пряный» разработана с использованием растительных биодобавок специй «10 овощей» и смеси специй «Карри» [269]. Специалистами Орловского государственного аграрного университета им. Н.В. Парахина разработан плавленый сыр с использованием стевии в качестве источника биологически активных компонентов [38; 101; 158].

Разработана технология плавленого сыра с применением криопорошка «Амарант» в качестве растительного компонента. Полученные образцы сыра не только имели более высокую биологическую ценность, но и характеризовались улучшенными качественными показателями в сравнении с традиционными образцами [228; 273].

Особенностью сыра «Ячменный» является использование в его составе пивной дробины (12 % от общего количества сырной смеси), которая представля-

ет собой ценный источник пищевых волокон и растительного белка [113]. На базе Кубанского государственного аграрного университета проведены исследования по применению в технологии плавленого сыра ячменного суслу [81]. В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова проведены исследования по использованию рисовой муки в качестве натурального структурообразователя при производстве плавленых сыров [28; 29].

В Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева проведены исследования по обогащению плавленого сыра ценным растительным сырьем (лен, расторопша, корни одуванчика, спирулина, овсяные хлопья) [61].

Таким образом, плавленый сыр – это популярный пищевой продукт, на который имеется постоянный потребительский спрос. Технология производства плавленых сыров позволяет вводить в их состав различные ингредиенты, тем самым создавая широкий ассортимент. Относительно низкая стоимость плавленых сыров в сравнении с обычным сыром делает их более экономически доступной продукцией для населения. Кроме того, уход многих стран-импортеров с отечественного рынка создает благоприятные условия для отечественных производителей. В связи с вышеперечисленным разработка новых видов плавленых сыров, обогащенных функциональными ингредиентами, является перспективным научно-прикладным направлением исследований.

1.3 Потенциал коллагена как ценного компонента пищевых систем

Под термином «коллаген» подразумевают семейство близкородственных фибриллярных белков, которые являются основным белковым элементом кровеносных сосудов, хрящей, сухожилий, костей, зубов и кожи [25; 76; 97]. Учеными обнаружено 28 типов этого белка в организме человека, но к самым физиологически важным относят первые три типа [140]. Первый тип наиболее распространен

в человеческом организме. Ему принадлежит важная миссия в образовании тканей, органов, кожи, связок, сухожилий, костей, а также эластичности кожи, регенерации тканей, в заживлении ран и предотвращении тканей от разрывов. Коллаген второго типа особенно важен для гибкости и прочности суставов, образования хрящевой ткани, подвижности и здорового состояния суставов. Коллаген третьего типа включает в себя основной компонент внеклеточного матрикса и ретикулярные волокна, выступая основой органов и кожи [3; 25; 190; 201; 206]. Коллаген необходим для выполнения биологических функций клетки, таких как пролиферация и дифференцировка [218; 229; 290].

Коллаген в организме человека играет важную роль, однако снижение его синтеза отмечается достаточно рано: потеря коллагена в организме человека начинается уже в возрасте 18–29 лет, после 40 лет потери составляют около 1 % в год, а примерно в 80 лет выработка коллагена в организме может уменьшиться на 75 % по сравнению с 18-летними [152; 197; 281;]. Самый безопасный способ восполнения коллагенового белка в организме – потребление его в пищу [10; 13; 22; 78; 169; 194]. Аминокислотный состав коллагена своеобразен и уникален: например, гидроксипролин встречается только в пептидах коллагена; кроме того, коллаген богат такими аминокислотами, как глицин (33 %), пролин + гидроксипролин (22 %) [223; 242]. Благодаря коллагену организм получает такие важнейшие аминокислоты, как глицин, аргинин, глутамин, оксипролин, пролин и оксипролин [22; 26].

Современная наука рассматривает коллагеновые пептиды как перспективный ингредиент для ФПП, поскольку они обладают антиоксидантной и антимикробной активностью [252; 284], способствуют лечению минеральной недостаточности и, как показано в исследованиях *in vivo*, улучшают память [219; 225; 250; 253; 259; 268]. Показано, что говяжий и овечий гидролизированный коллаген способен повышать биодоступность кальция за счет присоединения его ионов [233; 263]. Гидролизированный коллаген также оказывает благотворное действие на некоторые пробиотические культуры [289].

Коллагены нашли широкое применение в различных областях пищевой промышленности [13; 25]. В нормальных условиях коллаген является очень стабильным и практически нерастворимым белком, но в результате гидролиза (при нагревании выше 40 °С) теряет структуру тройной спирали и превращается в растворимую в воде смесь полипептидов [91]. Гидролизированный коллаген представляет собой смесь низкомолекулярных пептидов, которые могут быть получены ферментативным действием при определенной температуре инкубации в кислых или щелочных средах [242]. Гидролизированный коллаген является природным ионообменником [83].

Гидролизированный коллаген хорошо зарекомендовал себя в пищевой промышленности с точки зрения улучшения структурно-механических свойств продукции (супов, напитков, мясных и молочных продуктов) [91; 223].

Использование коллагена в производстве ливерных колбас улучшает качество продукции [251]. Коллаген может использоваться в качестве естественной альтернативы синтетическим эмульгаторам при производстве кисломолочных продуктов питания, а также в композициях напитков [268].

В Малайзии разработан пробиотический напиток с добавлением пептидов коллагена и витамина С в качестве антиоксиданта, получивший название «Vitagen Коллаген». Полезные свойства напитка заключались в стимулировании роста полезной микрофлоры желудочно-кишечного тракта и положительном воздействии на качество кожи [277].

Желатин нашел широкое применение в пищевой промышленности, в частности при производстве десертов, пастилы, желе, соусов, а также в качестве загустителей, стабилизаторов и эмульгаторов [89; 157; 256]. В молочной промышленности его применяют при производстве некоторых продуктов (йогурт, сметана, мороженое) для стабилизации консистенции.

На рынке представлены три вида коллагена: животный, растительный и морской, из которых наиболее изучен коллаген животного происхождения [124; 194]. Фитоколлаген хорошо усваивается кожей [171], однако на самом деле растительный коллаген – это чаще всего гидролизированный протеин пшеницы, который

обладает некоторыми свойствами растворимого коллагена. Принципиальная разница между этими двумя видами коллагена заключается в составе аминокислот: у фитоколлагена отсутствуют оксипролин и оксипролин [76]. В последние годы активно развивается направление по получению коллагена из гидробионтов [76]. Использование рыбьей чешуи (содержание коллагена 40–72 %) для получения коллагеновых белков также является перспективным направлением [43; 44; 198]. Коллаген из рыбы представляет интерес для пищевой промышленности в качестве съедобных пленочных покрытий [12; 14; 31]. Получена колбаса из морепродуктов с повышенным содержанием коллагена из рыбьей чешуи. В технологии напитков для повышения качества и улучшения функциональных свойств использовали порошок водорастворимого коллагена, полученного из чешуи рыб [254; 255; 257; 283]. Также выпущен кофе с коллагеном, полученным из рыбы [288].

Коллаген используют в качестве съедобных пищевых пленок и покрытий, которые защищают продукт от проникновения кислорода, в качестве масло- и влагоотделителей, помогают сохранить структурную целостность и при этом обеспечивают паропроницаемость [221].

Описана возможность использования коллагена для обогащения жидких молочных продуктов (йогурт, сывороточный напиток, пробиотический напиток) [241; 285; 289], однако данные по плавленому сыру отсутствуют. Известно, что гидролизированный коллаген действует как антимикробное средство в составе сывороточного напитка [241], что позволяет ожидать схожий эффект и в плавленом сыре.

Создание новых продуктов питания, дополнительно содержащих в своем составе коллагеновые белки, является перспективным направлением совершенствования состава пищевых систем, в частности плавленых сыров. С учетом потенциального обогащающего эффекта от использования гидролизованного коллагена в составе продуктов, а также данных о его высокой термостабильности, растворимости, антиоксидантных и реологических свойствах, большой научный и практический интерес представляет вопрос изучения поведения коллагенсодержащих смесей в технологии плавленых сыров.

1.4 Потенциал пшеничных отрубей и лецитина как функциональных ингредиентов пищевых систем

Нерастворимые пищевые волокна (ПВ), которые не гидролизуются пищеварительными ферментами и не абсорбируются в тонком кишечнике, обязательно должны присутствовать в рационе человека [41; 66; 176]. ПВ являются питательным субстратом для полезной микрофлоры кишечника (бифидо- и лактобактерии), в связи с чем относятся к пребиотикам; благодаря положительному воздействию на кишечную микробиоту ПВ косвенно участвуют в стимулировании иммунной системы человека [45; 65; 188; 202; 244; 275]. Практически повсеместно отмечается проблема недостаточного употребления в пищу ПВ [126]. Одним из путей восполнения дефицита ПВ является разработка и производство обогащенных ими новых комбинированных продуктов питания [60; 70; 74; 114]. Из продуктов с высоким содержанием нерастворимых ПВ можно выделить отруби [145; 150; 166].

Пшеничные отруби имеют вид мелкой и легкой лузги светло-бежевого цвета с травянистым вкусом и еле уловимым запахом и, в отличие от отрубей других видов, характеризуются большей мягкостью. Овсяные или ржаные отруби имеют более грубую структуру [122]. Детям с 10-месячного возраста разрешено давать отвар из пшеничных отрубей [77].

Пшеничные отруби – это низкокалорийный продукт с высоким содержанием витаминов (В₁, В₂, В₄, В₅, В₆, В₉, К, РР, Е), макро- и микроэлементов (кальций, калий, натрий, магний, фосфор, сера, железо, медь, цинк, селен, марганец) [20; 80; 122]. Благодаря своему уникальному составу пшеничные отруби имеют множество положительных для организма человека свойств [41; 165; 217].

На сегодняшний день пшеничные отруби достаточно часто используют в качестве функционального ингредиента для обогащения продуктов питания и придания им полезных свойств [107; 212]. Отруби возможно использовать и в составе упаковочных материалов для продуктов с невысокой влажностью [109].

Для предварительной обработки пшеничных отрубей могут применяться различные методы: физические (шлифование, измельчение), химические (использование щелочей, кислот), физико-химические (мокрое окисление, паровой взрыв, горячая вода) и биологические (микроорганизмы и их ферменты, разлагающие биомассу) [40; 147; 199]. Одним из способов является обработка отрубей ферментами или микроорганизмами, которые разрушают клеточную стенку, что позволяет увеличить содержание биологически активных соединений в продукте [209; 261]. Предварительная обработка способствует повышению усвояемости полезных веществ, содержащихся в отрубях [207; 231; 237; 245; 246]. Установлено, что биоконверсия полимеров пшеничных отрубей увеличивает содержание в них усвояемых полезных веществ, а полученный с использованием таких отрубей продукт обладает функциональными свойствами и имеет повышенную пищевую ценность [148; 150].

Обоснована целесообразность применения пшеничных отрубей для повышения пищевой, биологической ценности и увеличения выхода хлебобулочных изделий [165; 172]. Пшеничные отруби используют при приготовлении мучных кондитерских изделий, таких как тарталетки, кексы и печенье, которые отличаются не только хорошими потребительскими свойствами, но и более высокой пищевой ценностью в сравнении с обычными изделиями. Введение в рецептуру данных продуктов пшеничных отрубей имело и экономический эффект [48; 75; 80; 108; 110; 118; 192].

Пшеничные отруби улучшают функционально-технологические и структурно-механические свойства мясной продукции [9; 37; 150; 192]. Установлено, что добавление пшеничных отрубей в количестве 20 % в рецептуру мясных полуфабрикатов повышает влагоудерживающую способность готовой продукции даже при температурной обработке [36]. Разработана технология приготовления котлет из рубленого мяса птицы, где в качестве замены пшеничного хлеба использовали пшеничные отруби; показано положительное влияние отрубей на комплекс функционально-технологических свойств новых продуктов [181].

В диссертационной работе О.В. Пензиной [139] описана технология творожного биопродукта с пшеничными отрубями. Установлено положительное влияние пшеничных отрубей на содержание в продукте пробиотической микрофлоры *Lactobacillus acidophilus*.

Разработан кисломолочный напиток, где в качестве функциональной добавки применяли пшеничные отруби. Полученный обогащенный напиток характеризовался повышенным содержанием ПВ, витаминов группы В и микроэлементов [33]. Представлены данные о применении растительных наполнителей (кунжута, персика, стевии) и пшеничных отрубей в рецептурах геродиетических молочных напитков функциональной направленности [55]. В Башкирском государственном аграрном университете разработан напиток «Башкирочка» на основе молочной сыворотки, яблочного сока и пшеничных отрубей. Один стакан данного напитка способен примерно на 5–8 % удовлетворить суточную потребность человека в ПВ [67]. Кроме того, пшеничные отруби находят применение в качестве функционального ингредиента в составе кефира [123] и йогурта [261].

Разработан мягкий кислотно-сычужный сыр, обогащенный пшеничными отрубями, которые предварительно гидратировали в молоке, а затем вносили в смесь в количестве 3 % [120; 195; 260]. Также описана рецептура мягкого сыра, обогащенного тремя видами отрубей: пшеничными, овсяными и ржаными [34].

Несмотря на то, что пшеничные отруби уже активно используются для обогащения многих продуктов питания, актуальность их применения при разработке новых продуктов питания по-прежнему остается высокой.

Под термином «лецитины» подразумевается группа жироподобных веществ, которая на 65–75 % состоит из фосфолипидов, остальную часть составляют триглицериды и небольшое количество других веществ [7; 85].

Лецитин присутствует в каждой клетке человеческого организма, он является основным структурным элементом клеточных мембран. Больше всего лецитина содержится в печени, на втором месте – клетки головного мозга, на третьем – нервная ткань [6; 151].

С возрастом в организме человека происходит значительное снижение уровня фосфолипидов [6; 151]. При этом роль лецитина велика: он принимает участие во всех обменных и энергетических реакциях, нормализации жирового обмена и метаболизма, является важным элементом нервной системы, печени, строительным материалом головного мозга, необходимым элементом для выработки многих гормонов; установлено его благоприятное влияние на репродуктивную и мочеполовую систему, снижение риска образования холестериновых бляшек, а также роль в усвоении жирорастворимых витаминов А, D, Е, К [32; 61; 71; 88; 151].

Помимо яичных желтков, лецитином богаты такие продукты, как мясо, печень, молоко, рыба, икра, креветки, нерафинированные растительные масла, орехи, семечки подсолнечника, бобовые культуры, рис, гречка, овсянка, проростки пшеницы и цельное зерно, авокадо, капуста, морковь, оливки и т.д. [42; 162]. Из-за широкого спектра функциональных особенностей лецитин применяют для создания биологически активных добавок [15; 187]. В пищевой промышленности лецитин применяют как пищевую добавку растительного происхождения E322 в качестве антиоксиданта (для увеличения срока годности) и эмульгатора (для однородной консистенции). Лецитины одновременно имеют липофильную и гидрофильную структуру, что придает им уникальные технологические свойства. В качестве эмульгатора лецитин используют при производстве маргарина, молочных продуктов, хлебобулочных, кондитерских и шоколадных изделий [7; 79; 94; 137; 174]. Требования к качеству лецитинов изложены в ГОСТ 32052 [53]. Лецитины должны соответствовать требованиям ТР ТС 029/2012 и ГОСТ 32052-2013.

Использование органического лецитина в пищевой промышленности позволяет получать органические продукты питания без использования синтезированных пищевых добавок. Отдельные фракции лецитина применяют в производстве липосом для того, чтобы защитить неустойчивые вещества, например витамины. Для промышленного использования лецитин в основном получают из сои и подсолнечника, так как именно в этих сельскохозяйственных культурах содержится максимальное количество этого вещества [7; 138]. Соевый лецитин в большей ча-

сти получают из генно-модифицированной сои. В последнее время в Евросоюзе в связи с отказом от применения генно-модифицированного сырья возрос интерес к подсолнечным и рапсовым лецитинам как безопасным источникам физиологически ценных фосфолипидов.

Большая часть лецитинов, выпускаемых отечественными предприятиями, имеет содержание фосфолипидов не менее 60 % [87; 98; 99]. Работы по изучению лецитинов, получению более эффективных типов и их применению в разных областях пищевой промышленности не теряют своей актуальности.

Проводятся исследования, направленные на повышение качества выделенных из масел фосфолипидов [49; 138]. Сотрудниками Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики разработана методика интенсивной очистки фосфатидов подсолнечных масел до пищевых фосфолипидов с помощью ультразвука, в результате чего удалось получить лецитин высокого качества [189]. При сотрудничестве Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции и Кубанского государственного технологического университета проведены исследования отечественных лецитинов из соевых, подсолнечных и рапсовых масел [99]. В Казахском агротехническом университете проведены исследования по получению лецитинов из семян сафлоры [7].

Специалистами Кубанского государственного технологического университета проведены исследования по получению подсолнечных лецитинов олеинового типа. Установлено, что полученные лецитины имеют высокую физиологическую активность и пищевую ценность, что позволило рекомендовать их в качестве компонента продуктов функционального назначения, а также биологически активных добавок [72]. Там же разработана биологически активная добавка «Сквален-Лецитин» [100].

Кроме того, специалистами Кубанского государственного технологического университета изучены показатели качества, пищевая ценность и технологически функциональные свойства подсолнечных лецитинов и сделан вывод, что их можно применять для целенаправленного регулирования технологических свойств

сложных пищевых систем [39]. Изучены возможности применения лецитинов для восполнения дефицита эссенциальных пищевых веществ, а также в питании спортсменов [16].

В Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева проведены исследования по подбору лецитинов, которые позволят лучше удерживать форму хлебобулочных изделий с пищевыми волокнами, а также по обогащению молочного десерта наполнителем, содержащим лецитин [155].

Большое количество исследований, посвященных лецитинам, свидетельствует о том, что данный вид растительного сырья обладает большим потенциалом как функциональный пищевой ингредиент новых продуктов питания, в том числе плавленых сыров.

1.5 Обзор цифровых инструментов (баз данных, компьютерных программ, нейросетей) для сыродельной отрасли

Цифровые инструменты (базы данных, программы для ЭВМ) играют особую роль в инновационном развитии предприятий молочной отрасли. Актуальным приемом конкурентной борьбы является наращивание цифрового ресурса предприятия, в том числе расширение и закрепление прав на такие объекты интеллектуальной собственности, как базы данных и программы для ЭВМ [23; 185]. В эпоху цифровизации в пищевой отрасли такие инструменты активно создаются [18; 204; 213; 215; 235; 280], часть из них проходит регистрацию в патентных ведомствах соответствующих стран.

Нами проведен анализ статистической информации о цифровых инструментах в молочной отрасли, права на которые официально зарегистрированы в российском патентном ведомстве (Роспатенте).

Для закрепления правообладателя за цифровым объектом интеллектуальной собственности требуется пройти процедуру государственной регистрации. В России вопросами, связанными с правовой охраной и защитой результатов интеллектуальной деятельности (РИД), занимается Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) [153]. В нашем исследовании поиск информации проведен в реферативной базе данных ФИПС, которая содержит опубликованные сведения о зарегистрированных в России базах данных и соответствует составу официальных бюллетеней Роспатента с марта 2013 г. Тип поиска – логический. Хотя терминология молочной отрасли преимущественно относится к общепотребительной, для чистоты поиска в запросах делали усечение окончания терминов (использовали «*»).

При проведении поиска по запросу «плавлен* сыр*» был выведен один документ: свидетельство на базу данных № 2013620230 «Мультимедийная лекция на тему „Сыроделие“», дата регистрации 04.02.2013, правообладатель Кубанский государственный аграрный университет. Эта база данных предназначена для освоения теоретических основ классической технологии натуральных и плавленых сыров. Эта база данных, по сути, представляет собой слайды, подготовленные в Microsoft Power Point.

При проведении поиска РИД по запросу «сыр*» было найдено шесть баз данных. Стоит отметить, что четыре из шести баз данных необходимы вузам для проведения занятий и контроля усвоения изученного материала по производству сыров (№ 2013620307, 2013621220, 2014620556, 2021622409, 2013621415). Все они являются наборами слайдов. Только одна база данных является научно ориентированной: свидетельство № 2016621113 «Весовые изображения жиросодержащих продуктов питания». Эта база данных включает сборник фотографий продуктов (31 графический файл формата *.jpg), содержащих незаменимые жирные кислоты, и предназначена для визуального представления размеров жиросодержащих продуктов питания.

Далее нами проведен анализ статистической информации об отечественных программах для ЭВМ в сыродельной отрасли, права на которые официально заре-

гистрированы. В целях чистоты результатов поиска в запросах делали усечение окончания терминов для поиска документов с любыми формами данного термина. В частности, был сформирован запрос «сыр*» в поисковом поле «Реферат».

При проведении поиска РИД по запросу «сыр*» было найдено две программы для ЭВМ (таблица 2). Одна из них предназначена для автоматизации технологических процессов сыродельного предприятия, а вторая программа (№ 2019616771) позволяет рассчитать массовую долю хлорид-ионов в сырах и сырных продуктах с оценкой достоверности результата (согласно реферату, программа может применяться в вузах при изучении метода потенциометрии), что позволяет условно отнести ее к научно ориентированным.

Таблица 2 – Результаты поиска зарегистрированных компьютерных программ для сыроделия и кисломолочных продуктов

Номер	Дата приоритета	Правообладатель	Название
2018618437	12.07.2018	В.Г. Аитов	Программа автоматизации технологических и обеспечивающих процессов предприятия
2019616771	29.05.2019	Уральский государственный экономический университет	Программа автоматизированного определения хлорид-ионов в сырах и сырных продуктах методом потенциометрии (С1-ИСЭ)

Кроме ресурсов ФИПС, анализировались данные российского реестра программного обеспечения, который создан в соответствии со ст. 12.1 Федерального закона от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» в целях расширения использования российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, подтверждения их происхождения из Российской Федерации, а также в целях оказания правообладателям программ для электронных вычислительных машин или баз данных мер государственной поддержки [135].

На момент проведения исследований в реестр включено 14 906 программ.

При проведении поиска по запросу «плавлен» зарегистрировано 0 документов, по запросу «сыр» найдено 0 документов, по запросу «молоч» зарегистриро-

вано три документа, а по запросу «молоко» – один документ. Рассмотрим их более подробно.

Программное обеспечение «1С:Предприятие 8. Молокозавод» (запись в реестре № 1313 от 05.09.2016) и «1С:Предприятие 8. Бухгалтерия молокозавода» (запись в реестре № 649 от 29.04.2016) правообладателя ООО «1С» учитывает отраслевую специфику молокоперерабатывающих предприятий – молокозаводов, маслосыродельных предприятий, молочноконсервных заводов и т.д. Данные продукты являются комплексным решением, охватывающим основные контуры управления и учета; позволяют организовать единую информационную систему для управления различными аспектами деятельности предприятия; могут использоваться для унификации производственного и регламентированного учета.

Программа для управления процессами сериализации и агрегации ОСТ Дейри (OST Dairy) (запись в реестре № 649 от 29.04.2016) правообладателя ООО «ОС-Технолджи» предназначена для организации хранения и учета серийных номеров (кодов маркировки, кодов групповой и транспортной упаковки) для молочной продукции.

Электронный учебно-методический комплекс «Технология молока и молочных продуктов» (запись в реестре № 4901 от 03.12.2018) правообладателя ООО «Корпорация „Диполь“» предназначен для проведения электронного обучения студентов вузов, ссузов и школ по данной теме.

При этом отечественные ученые уже несколько десятилетий активно разрабатывают цифровые инструменты, перспективные для применения в реальном секторе экономики, в том числе в пищевой отрасли. Так, профессор О.Н. Красуля разработала цифровую платформу для проектирования рецептов и технологий молочных и мясных продуктов, является автором серии цифровых инструментов, работающих в условиях неопределенности [95; 96].

Согласно обзору [227], в пищевой промышленности применяются искусственные нейронные сети для анализа безопасности и качества пищевых продуктов. Они могут использоваться для моделирования роста микроорганизмов и прогнозирования безопасности пищевых продуктов; интерпретации спектроскопиче-

ских данных; прогнозирования физических, химических, функциональных и сенсорных свойств различных пищевых продуктов в процессе обработки и распределения. Нейросети также имеют большие перспективы для моделирования сложных задач в области управления технологическими процессами и симуляции, а также в приложениях машинного восприятия, включая «машинное зрение» и «электронный нос» для обеспечения безопасности пищевых продуктов и контроля качества.

В работе «Использование методики нейронных сетей в пищевой биотехнологии» [182] описаны основные принципы применения методики нейронных сетей при оптимизации технологических процессов и создании многокомпонентных пищевых добавок. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовали Statistic Neural Networks, программный пакет которой содержит средства для проектирования, моделирования, обучения нейронных сетей.

В 2007 г. российский исследователь В.В. Садовой применил нейросеть для проектирования многокомпонентных мясных продуктов с использованием вторичных ресурсов пищевой промышленности [161].

В диссертационной работе М.А. Никитиной «Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств» проведен анализ видеоизображений с применением нейросетевых технологий [127]. Применение нейронных сетей для системы кластеризационной идентификации продукта есть также упоминается в диссертационной работе В.К. Семипятого «Принципы мета-аналитической декомпозиции при формировании цифровых идентификационных профилей пищевых систем» [164].

Подавляющее большинство публикаций об опыте применения нейросетей и искусственного интеллекта в сыродельной отрасли найдено в зарубежных изданиях. Так, еще в 2003 г. в американском журнале «Computers & Chemical Engineering» опубликована работа под названием «Влияние параметров моделирования на прогнозирование влажности сыра с помощью нейронных сетей» и описан процесс разработки модели прогнозирования влажности сыра путем оптимизации параметров моделирования нейронных сетей [236]. В журнале «Journal of food engineering» в статье «Искусственная нейросетевая модель с базой данных культур

для прогнозирования стадии подкисления в производстве сыра» (2004 г.) описана разработка нейронной сети для определения времени добавления сычужного фермента при производстве сыра [232]. В журнале «Talanta» в статье «Прогнозирование типа молока и степени созревания сыров с помощью искусственных нейронных сетей с данными о жирных кислотах и ближней инфракрасной спектроскопии» (2013 г.) описано прогнозирование времени созревания и типа молочных смесей (коровьего, овечьего и козьего) в сырах различного состава с использованием искусственных нейронных сетей [278]. В журнале «Journal of food engineering» в статье «Сравнение искусственной нейронной сети и частичных регрессионных моделей методом наименьших квадратов для моделирования твердости в процессе созревания сыра швейцарского типа с использованием спектральных профилей» (2018 г.) описано моделирование твердости сыра швейцарского типа в процессе созревания с использованием спектральной информации и нейросети [282]. В журнале «Journal of dairy science» опубликована работа «Оценка уровня количества соматических клеток твердых сыров с использованием физико-химического состава и искусственных нейронных сетей» (2019 г.), в которой исследование направлено на прогнозирование качества овечьего сыра с использованием искусственных нейронных сетей [230]. В журнале «Food and bioproducts processing» в статье «Моделирование искусственных нейронных сетей для прогнозирования pH ферментации сливочного сыра в лабораторных и промышленных масштабах» (2021 г.) описана разработка нейросети для моделирования процесса брожения сливочного сыра [210]. В журнале «Food microbiology» в статье «Построение динамической модели для прогнозирования роста золотистого стафилококка и образования энтеротоксинов в процессе созревания казахского сыра» (2023 г.) описано создание математической модели прогнозирования роста популяции *S. aureus* в процессе производства творожного сыра [203]. В книге 2023 г. «Food structure engineering and design for improved nutrition, health and well-being» обоснована актуальность оптимизации с помощью искусственного интеллекта методов пищевой инженерии для разработки пищевых систем с желаемыми свойствами [211].

Дополнительно нами проведен поиск открытых обучающих наборов данных в следующих популярных источниках:

- UCI Machine Learning Repository [279];
- Google Dataset Search [220];
- Kaggle [214].

На сайте UCI Machine Learning Repository по запросу «processed cheese» не найдено ни одного обучающего набора данных, имеющего отношение к теме диссертации.

На сайте Google Dataset Search по запросу «processed cheese» найден обучающий набор данных по оценке влияния разных концентраций эмульгирующих солей калия на физико-химические, колориметрические и текстурные характеристики плавленых сыров (Data from: Development of processed low-sodium Maasdam cheese) [208] и статья, написанная по данному обучающему набору данных «Разработка плавленого сыра Маасдам с низким содержанием натрия» [248].

На ресурсе Kaggle по запросу сыр «cheese» найден 91 обучающий набор данных. При этом основное количество обучающих наборов связано с потребительской корзиной, еженедельными ценами на молочные продукты, предоставленными Министерством сельского хозяйства США, производством сыра в Европе, предоставленным статистической службой Европейского союза, изображения разных продуктов питания, включая сыр. Из всех этих наборов данных можно отметить три обучающих набора данных, ближе всего соответствующих теме диссертации:

– French Cheese Detection [216], обучающий набор данных содержит порядка 140 изображений двух сортов сыра с плесенью Fourme De Montbrison (Фурм де Монбрисон) и Fourme D’Ambert (Фурм д’Амбер);

– World Cheese Awards – этот набор содержит информацию о победителях «сырной» премии World Cheese Awards 2021 г., включающих наименования компаний, наименования сыров и их рейтинг, в нем содержится 1 700 записей [287];

– All the Cheese [196], обучающий набор данных содержит шесть видов сыров (твердые, мягкие, с плесенью и др.), в каждом виде 424 изображения сыра, общее количество составляет 2 544 изображений сыров.

– Cheese Pics – фотографии сыра [205], обучающий набор данных содержит порядка 1 800 рецептур сыров, каждая рецептура содержит 96 изображений.

Таким образом, большинство цифровых инструментов для сыроделия, зарегистрированных в России, напрямую связано с образовательным процессом; лишь одна база данных может использоваться как справочник и одна компьютерная программа потенциально интересна в научных исследованиях; специализированное программное обеспечение для сыроделия в Реестре российского ПО отсутствует, нейросети применяются ограниченно – для решения точечных локальных задач, но есть предпосылки для создания разнообразных более комплексных решений на основе обучения нейронных сетей.

В частности, на ресурсе Kaggle найден обучающий набор по оценке красного вина португальского производителя Vinho Verde [286] по 11 химическим признакам, включая оценку качества вина на 1 144 строк. Основными параметрами этого набора являются: *fixed acidity* – фиксированная кислотность; *volatile acidity* – летучая кислотность; *citric acid* – лимонная кислота; *residual sugar* – остаточный сахар; *chlorides* – хлориды; *free sulfur dioxide* – свободный диоксид серы; *total sulfur dioxide* – суммарный диоксид серы; *density* – плотность; *Ph, sulphates* – сульфаты; *alcohol* – спирт. Такой подход предполагается адаптировать в рамках диссертационной работы к обучению нейросети «Пищевые системы». Информационная система (база данных рецептур плавленых сыров и программа, обеспечивающая ее функционирование), разработанная для такого обучающего набора данных, позволит в дальнейшем использовать обученную нейросеть для прогнозирования качества рецептур плавленых сыров.

Заключение по главе 1

Указом Президента России от 21.01.2020 № 20 утверждена Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации на период 2020–2030 гг. Важный этап реализации Доктрины – разработка новых продуктов питания улучшенного качества, в том числе специализированных, функциональных и обогащенных пищевых продуктов. Разработку технологий обогащенной и функциональной продукции (в том числе с применением машинного обучения и искусственного интеллекта) актуально проводить на базе продуктов, входящих в повседневный рацион россиян и традиционно пользующихся спросом у населения. Анализ официальной статистики показал, что достижения рациональных норм потребления молочных продуктов за последние 10 лет не произошло ни в целом по России, ни по Сибирскому федеральному округу, ни в Алтайском крае – одном из лидеров страны по производству и переработке молока. Поэтому в качестве базового продукта нами был выбран такой молочный продукт, как плавленый сыр. Специфика технологии плавленых сыров позволяет достаточно эффективно управлять их составом путем введения различных ингредиентов, в том числе обогащающих и функциональных.

Анализ литературных данных показал, что большим потенциалом как функциональный пищевой ингредиент новых продуктов питания, в том числе плавленых сыров, обладают лецитины и отруби. Перспективным ценным компонентом пищевых систем может являться коллаген.

Перспективным направлением является разработка комплексных цифровых решений для предиктивной аналитики в области сыроделия (информационных систем, баз данных рецептов, программ для управления базами данных; наборов данных для обучения нейросетей). Машинное обучение позволит работать с алгоритмами, которые могут быть обучены и затем будут строить прогнозы на основе наборов данных, в том числе рецептов.

Вопросами моделирования свойств пищевых систем, в том числе с использованием соответствующего цифрового инструментария, нейросетевых технологий, машинного обучения и других возможностей искусственного интеллекта, активно занимаются российские и зарубежные ученые: А.А. Борисенко, Н.И. Дунченко, И.А. Евдокимов, Л.А. Забодалова, Ю.А. Ивашкин, О.Н. Красуля, А.Б. Лисицин, М.А. Никитина, В.В. Садовой, В.К. Семипятный, С.Б. Юдина, Р. Freire, G.K. Goyal, S. Goyal, A. Kaczmarek, C.C. Licon и др. Большой теоретический и практический вклад в развитие технологии поликомпонентных молочных продуктов, в том числе плавленых сыров, внесли Н.Б. Гаврилова, С.В. Гудков, З.Х. Диланян, А.В. Дунаев, Н.П. Захарова, Т.Н. Иванова, И.А. Ивкова, В.В. Калабушкин, Т.М. Коновалова, О.В. Лепилкина, Е.А. Молибога, Е.А. Орлова, Т.А. Остроумова, В.М. Позняковский, В.Ф. Роздова, Ю.Я. Свириденко, А.П. Симоненкова, Н.Ю. Соколова, R.F. Fox, T.P. Guinee, D. Kannar, R. Kapoor, P.L.H. McSweeney, L.E. Metzger, C. Selomulya, G. Talbot-Walsh, A.Y. Tamime, P. Upreti и др. Несмотря на значительный вклад множества видных российских и зарубежных ученых в развитие соответствующего научного направления, остается неизученной возможность использования цифрового инструментария и нейросетевых технологий для прогнозирования заданных свойств пищевых систем. Внедрение данных подходов могло бы способствовать созданию инновационных продуктов с улучшенными характеристиками и повышению эффективности процесса разработки новой продукции.

Анализ научно-технической и патентной литературы свидетельствует об актуальности избранной темы, в связи с чем сформулирована цель работы – разработка и валидация информационной системы и нейросетевой модели для прогнозирования органолептических свойств плавленых пастообразных сыров при проектировании их рецептур.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) провести аналитический обзор российского и зарубежного опыта применения цифровых инструментов (баз данных, нейросетей) в сыроделии и пищевой промышленности;

2) разработать информационную систему «Рецептуры плавленых сыров» (базу данных более чем на 800 рецептов и программу управления), обеспечивающую поиск, фильтрацию и замену ингредиентов;

3) разработать и обучить нейросеть «Пищевые системы» для прогнозирования органолептической оценки рецептов, определить параметры машинного обучения (достоверность прогноза нейросети не ниже 80 %), провести валидацию на модельной линейке плавленых сыров;

4) выбрать на основе предиктивной аналитики нейросети «Пищевые системы» перспективную рецептуру плавленого пастообразного сыра и оптимизировать ее методами математического моделирования;

5) провести комплексную оценку свойств разработанного сыра «Сырте», установить срок годности, утвердить нормативную документацию и апробировать в промышленных условиях предложенные решения.

Цель диссертационной работы направлена на решение важной государственной задачи по созданию безопасных и качественных продуктов питания, в том числе функциональных, на основе использования передовых технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, что соответствует приоритетам, указанным в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (подп. «а» и «г» п. 21).

2 Организация работы, объекты и методы исследования

2.1 Организация работы и структура исследования

Теоретические и экспериментальные этапы исследования проводились в течение 2021–2026 гг. в лабораториях кафедры технологии продуктов питания, отдельные исследования выполнялись в лабораториях Сибирского научно-исследовательского института сыроделия (подразделение ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий») и в лабораториях АО «Барнаульский молочный комбинат». Исследования проводились в 3–5-кратной повторности на поверенном оборудовании с известными метрологическими характеристиками. Полученные данные обрабатывались методами математической статистики. Математические модели получены методом полного факторного эксперимента.

Апробация технологических результатов исследования проведена на в промышленных условиях ООО «Сибирское подворье» (г. Барнаул, Россия).

Отдельные результаты диссертационной работы получены в рамках реализации НИР «Создание наилучших доступных технологий производства функциональных продуктов питания на основе фундаментальных исследований, глубокой переработки сырья животного и растительного происхождения с использованием инструментария цифровой экономики» (2020–2023 гг., регистрационный номер 122012700036-4); «Научное обоснование нутрициологической поддержки групп населения, находящихся под воздействием экстремальных факторов, на примере импортозамещающих пищевых систем для Арктической зоны Российской Федерации» (2024–2026 гг., регистрационный номер 124013000666-5).

Общая схема проведения исследования приведена на рисунке 7.

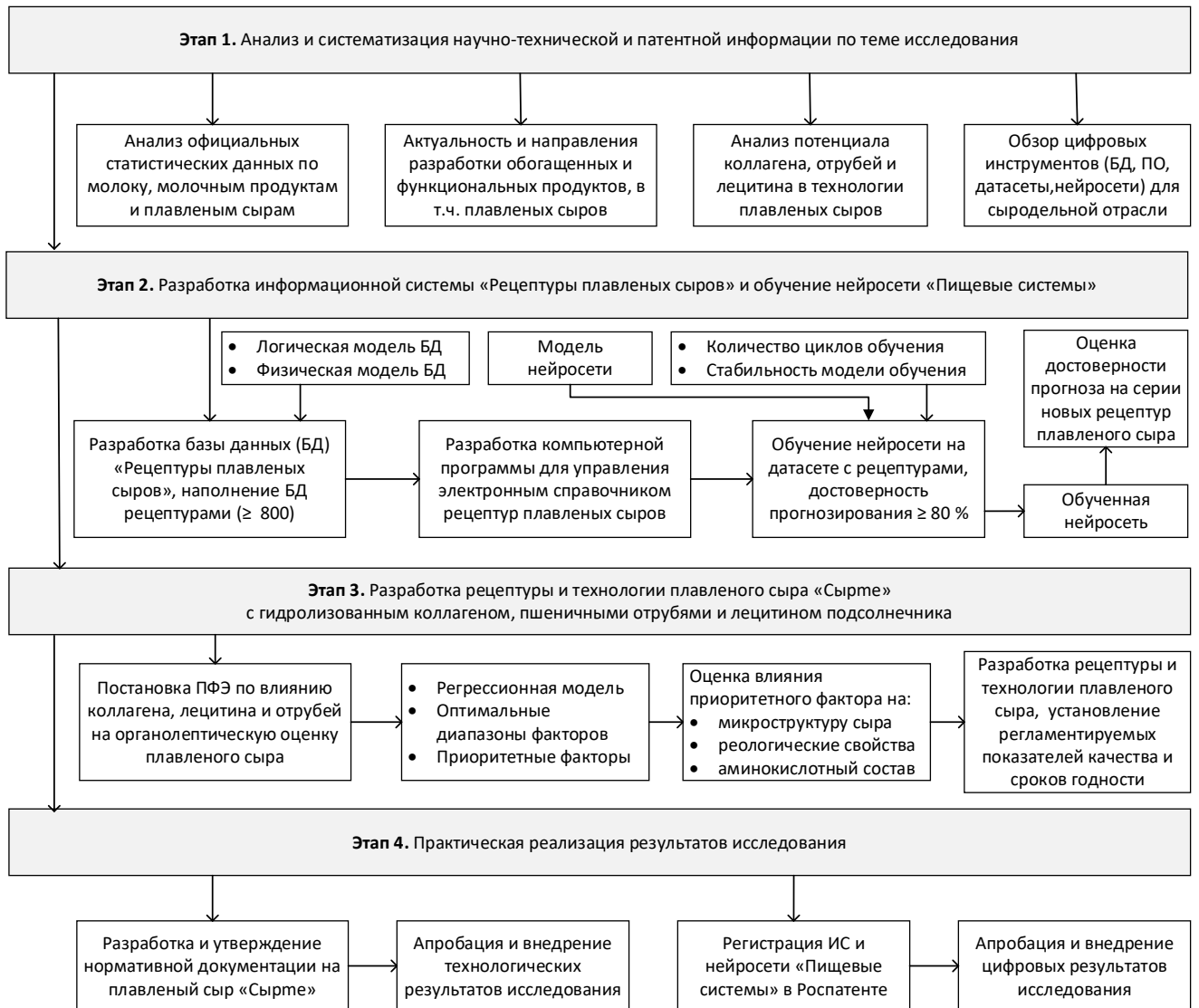


Рисунок 7 – Схема проведения исследования

На первом этапе выполнен аналитический обзор отечественных и зарубежных источников информации по теме исследования. Изучены статистические данные по производству и потреблению плавленных сыров в России и Алтайском крае. Проанализированы современные направления разработки обогащенных и функциональных продуктов питания, в том числе плавленных сыров. Дана оценка перспективности использования лецитина, коллагена и отрубей в составе плавленных сыров в качестве потенциально ценных ингредиентов, в том числе функциональной направленности. Проанализированы российские цифровые инструменты для сыродельной отрасли (базы данных, компьютерные программы), изучен мировой и отечественный опыт применения нейросетевых технологий в пищевой промыш-

ленности и сыроделии. На основании аналитического обзора показана актуальность исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

На втором этапе разработана информационная система (ИС) «Рецептуры плавленых сыров», включающая базу данных (БД) и поддерживающую ее функционирование компьютерную программу; подготовлена инструкция по использованию ИС; разработана и обучена на основе входящих в ИС рецептов нейросеть «Пищевые системы», проведена ее валидация на линейке новых рецептов плавленых сыров.

На третьем этапе исследования изучена рецептура плавленого сыра с наполнителями, выбранная на основе предиктивной аналитики нейросети «Пищевые системы». Смоделировано влияние дозировки наполнителей на органолептическую оценку плавленого сыра; определены приоритетные факторы регрессионной модели и их оптимальные диапазоны; установлено влияние гидролизованного коллагена (ГК) на аминокислотный состав, микроструктуру и реологические свойства плавленого сыра; разработана рецептура и технология сыра «Сырме» с ГК, пшеничными отрубями и лецитином подсолнечника; оценены потребительские свойства нового сыра, установлены регламентируемые показатели качества и обоснован срок годности.

На заключительном этапе разработана и утверждена нормативная документация на плавленый пастообразный сыр «Сырме», проведена ее апробация и внедрение в производственных условиях ООО «Сибирское подворье»; разработанный цифровой инструментарий прошел государственную регистрацию, апробирован и внедрен в работу Центра комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт» и Инжинирингового центра «ХимБиоМаш» АлтГТУ.

2.2 Объекты исследования

Объекты исследования: модельные пищевые системы для плавления, включающие дополнительные ингредиенты (далее – наполнители), перечисленные в таблице 3); плавленые пастообразные сыры экспериментально-лабораторного производства (опытные образцы, контроль – по рецептуре из Сборника технологических инструкций по производству плавленых сыров); для наполнения ИС использовались рецептуры из сборников технологических инструкций по производству плавленых сыров, публикаций, индексированные в международных базах научного цитирования, диссертации, размещенные в Российской государственной библиотеке, рецензируемые научные и учебные издания.

Таблица 3 – Наполнители (функциональные пищевые ингредиенты, обогащающие ингредиенты, вкусоароматические ингредиенты) для плавленого сыра

Наименование	Производитель	Страна	Нормативный документ
Коллаген гидролизированный	ООО «СМТ-Групп»	Россия	ТУ 10.89.19-003-0160057957-2021
Лецитин подсолнечника	ООО «Ювикс-фарм»	Россия	ТУ 9197-002-57531875-2015
Пшеничные отруби	ООО «Сибирская клетчатка»	Россия	СТО 67008287.001-2014
Ростки ячменя сушеные молотые	ИП Семисотов А.В.	Россия	ТУ 10.89.19-002-02000216635-2019
Овсяные отруби	ООО «Сибирская клетчатка»	Россия	СТО 67008287.001-2014
Пшеничная клетчатка	ООО «Сибирская клетчатка»	Россия	СТО 67008287.002-2015
Клубника сушеная молотая	ИП Семисотов А.В.	Россия	ТУ 10.89.19-002-02000216635-2020
Томаты сушеные молотые	ИП Семисотов А.В.	Россия	ТУ 10.89.19-002-02000216635-2020
Ирги сироп	ООО «ТД Сибирская крепость»	Россия	ГОСТ 28499-2014
Какао-порошок	ООО «Объединенные кондитеры»	Россия	ГОСТ 108-2014
Манго сушеное молотое	Goldiee Ltd.	Индия	–
Мед цветочный	ООО «Пасеки Соловьевых»	Россия	СТО 21455163-001-2014
Бетулин	НПО «Экодика»	Россия	ТУ 9169-001-42650048-2016

В исследованиях использован коллаген гидролизованный говяжий, который представляет собой смесь низкомолекулярных пептидов, полученных ферментативным гидролизом при определенной температуре инкубации в кислых или щелочных средах. Все наполнители соответствуют требованиям безопасности технических регламентов ТР ТС 021/2011, ТР ТС 029/2012.

В качестве основного сырья для выработки плавленого сыра в работе использованы: сыры сычужные полутвердые по ГОСТ 32260 с массовой долей сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %; творог по ГОСТ 31453 с массовой долей сухого вещества 25 %, жира 5 %; масло крестьянское сладко-сливочное по ГОСТ 32261 с массовой долей сухого вещества 75%, жира 72,5 %; сливки по ГОСТ 34355 с массовой долей сухого вещества 41 %, жира 35 %; молоко сухое обезжиренное по ГОСТ Р 52791 с массовой долей сухого вещества 96 %; соль пищевая по ГОСТ Р 51574 первого сорта; кислота лимонная моногидрат пищевая по ГОСТ 908; вода питьевая по ГОСТ Р 51232, СанПиН 1.2.3685, СанПиН 2.1.3684; соли-плавители. Творог с требуемыми показателями изготавливался самостоятельно, из молока-сырья, поступающего на ООО «Экспериментальный сыродельный завод», закваска – производства ООО «Барнаульская биофабрика», остальные компоненты приобретались в торговой сети.

Соли-плавители подобраны с учетом получения пластичной консистенции в плавленом сыре и активной кислотности от 6,20 до 5,80: ортофосфат натрия по ГОСТ 31725; пирофосфат натрия по ГОСТ Р 55054; трифосфат натрия по ГОСТ 31638; полифосфат натрия по ГОСТ 31686.

Выбор объектов исследования диссертационной работы обусловлен ее целью и задачами.

Образцы плавленых сыров вырабатывались на приборе «Термомикс ТМ5» (Vorwerk International & Co. KmG, Швейцария) путем измельчения, смешивания и плавления подготовленного сырья с использованием солей-плавителей. Плавленный сыр в ходе экспериментов вырабатывали из сычужных сыров, творога, масла сливочного, сливок, сухого обезжиренного молока, а также наполнителей (см. таблицу 4), с добавлением солей-плавителей, регуляторов кислотности, соли и во-

ды. «Термомикс ТМ5» позволяет регулировать скорость вращения ножей и температуру нагрева, что важно для правильного ведения технологического процесса варки сыров.

2.3 Методы исследования

На теоретическом этапе использовали методы научного исследования: анализ и синтез, систематизация, классификация, сравнение и обобщение, моделирование.

В процессе создания ИС и обучения нейросети использовали методы машинного обучения, методы извлечения и анализа данных, включая методы системного анализа, методы аналитической обработки информации, методы объектно-ориентированного программирования, методы оптимизации; аппарат нечеткой логики, инструменты и методы программной инженерии.

При проведении экспериментов применяли комплекс общенаучных и специальных биохимических, физико-химических, реологических, хроматографических, органолептических, микробиологических методов исследования.

Исследования проводили в 3–5-кратной повторности на поверенном оборудовании с известными метрологическими характеристиками.

Полученные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием программы Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США), MathCAD Professional (Parametric Technology Corporation, США). Математические модели в работе получены методом полного факторного эксперимента.

Свойства и показатели сырья, модельных пищевых систем и образцов плавленого сыра изучали по нижеуказанным методикам.

Оценка показателей качества молока и опытных образцов плавленых сыров

Отбор проб и их подготовку к анализу проводили согласно ГОСТ 26809.2, ГОСТ 32901, ГОСТ 26929, ГОСТ 32164, МУК 4.1.787, МУК 2.6.1.1194.

Биохимические исследования молока-сырья проведены на инфракрасном анализаторе MilkoScan (Фурье-ИК-спектрометр, FOSS, Дания).

Массовую долю жира в молоке и в плавленом сыре, а также массовую долю жира в сухом веществе плавленого сыра определяли в соответствии с методиками, изложенными в ГОСТ 5867; массовую долю влаги в молоке – по ГОСТ 3626, в плавленом сыре – по ГОСТ Р 55063; массовую долю белка – по ГОСТ 23327; массовую долю хлористого натрия – по ГОСТ Р 55063; активную кислотность – по ГОСТ 32892, титруемую кислотность – по ГОСТ 3624.

Органолептическую оценку образцов плавленого сыра проводили по ГОСТ 33630 при температуре воздуха в помещении (20 ± 2) °С и температуре анализируемых образцов (18 ± 2) °С, измеряемой в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55063. Органолептическую оценку плавленого сыра проводили на выборке, отобранной по ГОСТ Р 55063. Массу нетто плавленого сыра определяли в соответствии с ГОСТ Р 55063.

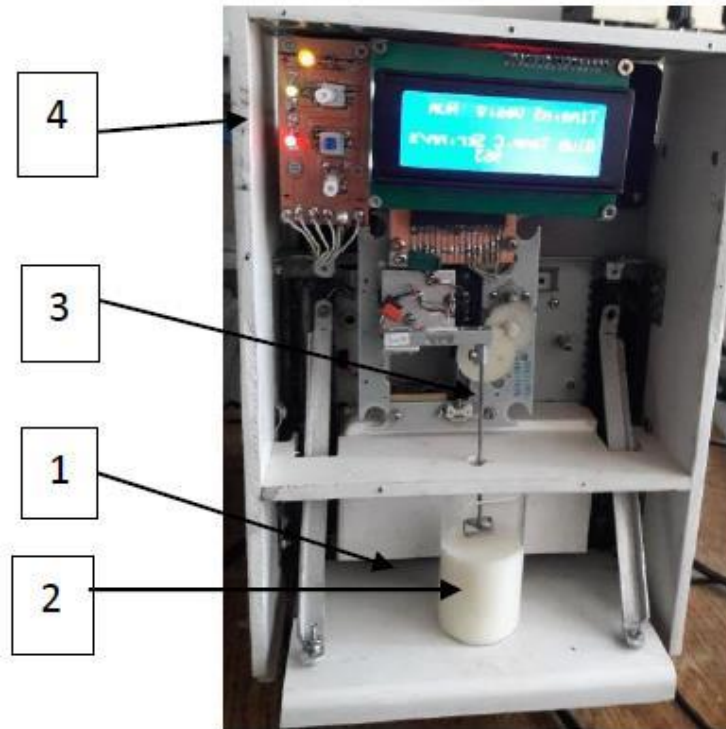
Подготовку проб к микробиологическим анализам проводили по ГОСТ 26669. Микробиологические показатели продукции анализировали по ГОСТ 32901, ТР ТС 021/2011, МР 2.3.2.2327-08. СанПиН 2.3.2.1078-01. Определение микробиологических показателей: бактерии группы кишечных палочек – по ГОСТ 32901, ГОСТ 31747; количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – по ГОСТ 10444.15; дрожжи, плесени – по ГОСТ 33566.

Санитарно-эпидемиологическую оценку обоснования сроков годности плавленого сыра осуществляли в соответствии с СанПиН 2.3.2.1324 и методическими указаниями МУК 4.2.1847-04 с учетом требований ПНСТ 826-2023. В процессе хранения образцов сыров исследовали эпифитную микрофлору продукта с определением общего количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, наличие дрожжей и плесневых грибов и бактерий группы кишечной палочки – с использованием методик по ГОСТ 10444.15.

Исследование реологических свойств опытных образцов плавленых сыров

Исследование реологических свойств проведено в лабораторных условиях Сибирского научно-исследовательского института сыроделия на базе сектора

процессов и оборудования под руководством профессора А.А. Майорова по методике, предусматривающей погружение индентора и измерение напряжения сдвига (усилия нагружения на инденторе, отражающего сопротивление деформации). Описание прибора «Реокон», разработанного А.А. Майоровым, и его внешний вид приведены в работах [105; 106], а также на рисунке 8.



105

a*б*

Рисунок 8 – Внешний вид прибора «Реокон» со снятым кожухом (*a*) и подключаемых к прибору инденторов (*б*): 1 – основание движущегося механизма; 2 – емкость с образцом; 3 – индентор; 4 – блок управления

Методика основана на определении сопротивления деформации (напряжения сдвига) при погружении индентора в образец плавленого сыра на заданную глубину при заданной скорости.

«Реокон» состоит из измерительного устройства с механической системой и блока управления, подключенного к компьютеру регистрации данных (рисунок 8, а). Емкость с образцом (2) устанавливается на основание движущегося механизма (1), предназначенного для подъема образца до необходимого уровня. Рабочей частью прибора является легкоъемный индентор (3). Движение индентора («вверх» и «вниз») на расстояние 50 мм осуществляется электроприводом. Скорость движения индентора 10 мм/с. Создаваемое в результате движения индентора усилие (сопротивление деформации) регистрируется через аналогово-цифровой преобразователь и поступает на вход USB компьютера, где отображается в табличной форме. Обработка данных ведется с использованием микропроцессора Atmel GA 328. В блоке управления (4) расположены устройства питания электропривода, система движения индентора («вверх» и «вниз»), аналогово-цифровой преобразователь.

Принцип действия прибора основан на измерении предела прочности образца плавленого сыра при погружении индентора. Результаты измерения, пересчитанные в граммах, выводятся на экран монитора. Таким образом, данный метод исследования структурно-механических свойств плавленого сыра основан на измерении сопротивления, которое образец сыра оказывает погружаемому в него на глубину 50 мм индентору.

Исследование микроструктуры опытных образцов плавленых сыров

При исследовании микроструктуры образцов плавленого сыра задействованы инструментальные ресурсы двух лабораторий.

В лаборатории кафедры технологии продуктов питания Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии АлтГТУ исследования проведены с помощью микроскопа биологического марки «Микромед-1», вариант 2-20 (Ningbo Sheng Heng Optics & Electronics Ltd., Китай), с биноккулярной визуальной насадкой того же производителя. Исследования проводились в проходящем

свете по методу светлого поля. Визуальная насадка микроскопа работала совместно с камерой (видеоокулярном) ToupCam UCMOS03100KPA (ToupTek Photonics Co., Ltd, Китай), адаптером-переходником ToupTek FMA050 0.50X (ToupTek Photonics Co., Ltd, Китай), 15" монитором LG FLATRON L1510S (LG Electronics, Южная Корея) и программным обеспечением ToupView (ToupTek Photonics Co., Ltd, Китай), позволяющим выполнять предварительный просмотр изображения в заданном масштабе, сохранять полученное изображение, редактировать файлы и проводить необходимые линейные измерения с последующей обработкой данных. Вышеуказанное программное обеспечение поставлялось в комплекте с цифровой камерой.

В лаборатории АО «Барнаульский молочный комбинат» исследования проведены с помощью микроскопа «Альтами БИО 1» (ООО «Альтами», Россия) с видеокамерой «Альтами UCMOS05100KPA-U-NA-N-C-SQ-NA» (ООО «Альтами», Россия), адаптером-переходником 0.5-C/23 0.50X (ООО «Альтами», Россия), 19" монитором Samsung S19C200 («Самсунг Групп», Южная Корея) и программным обеспечением Altami Studio (ООО «Альтами», Россия), также позволяющим выполнять предварительный просмотр изображения в заданном масштабе, сохранять полученное изображение, редактировать файлы и проводить необходимые линейные измерения с последующей обработкой данных. Программное обеспечение поставлялось в комплекте с цифровой камерой.

Увеличение микроскопа ($M_{at\ ocular}$) рассчитывается как произведение увеличения объектива и увеличения окуляра:

$$M_{at\ ocular} = M_{obj} \times M_{ocular}, \quad (1)$$

где M_{obj} – увеличение объектива микроскопа; M_{ocular} – увеличение окуляра микроскопа.

В нашем случае микроструктурный анализ проводился на микроскопе, к которому был присоединен видеоокуляр, подключенный персональному компьютеру. Поэтому формула итогового увеличения (M_{total}) принимает вид

$$M_{total} = M_{optical} \times M_{digital}, \quad (2)$$

где $M_{optical}$ – оптическое увеличение; $M_{digital}$ – цифровое увеличение.

При просмотре изображений на мониторе компьютера окуляр не используется, а в оптический путь вводится дополнительная линза – адаптер; увеличение адаптера учитывается, поскольку сенсор камеры несколько меньше, чем изображение, поступающее на него с микроскопа, и возникает необходимость применить уменьшающий адаптер (с увеличением меньше единицы). В данной формуле также необходимо учесть размеры сенсора камеры и монитора компьютера. Для этого в формулу вводят индекс увеличения, который несложно рассчитать. Для этого нужно разделить диагональ применяемого монитора на диагональ матрицы камеры:

$$M_{optical} = M_{obj}, \text{ а } M_{digital} = M_{cam\ adapter} \cdot \frac{d_{mon}}{d_{sensor\ cam}}, \quad (3)$$

где $M_{cam\ adapter}$ – увеличение линзы адаптера камеры.

Обобщенная формула итогового увеличения:

$$M_{total} = M_{obj} \cdot M_{cam\ adapter} \cdot \frac{d_{mon}}{d_{sensor\ cam}}. \quad (4)$$

Диагональ монитора – 470 мм для Samsung S19C200, диагональ матрицы камеры – 8,2 мм для TopCam UCMOS03100KPA.

Для приготовления микроскопического препарата образцы пастообразного плавленого сыра наносили тонким слоем на предметные стекла, далее на предметное стекло наносили водный раствор метиленового синего, затем накрывали образец покровным стеклом.

Для последующего анализа данных, полученных с микроскопов, использовали пакет обработки изображений Fiji ImageJ2 (проект с открытым кодом разработчиков из США, Испании, Великобритании, Германии, Франции, Финляндии, Швейцарии) [264; 271]. С помощью пакета обработки изображений Fiji ImageJ2 произведена оценка размеров жировых глобул в образцах плавленого сыра для построения гистограмм распределения. Также проведена оценка однородности белковой матрицы в образцах плавленого сыра с помощью инструмента Interactive 3D Surface Plot, который создает интерактивные графики поверхностей и поддерживает выборки, которые могут быть непрямоугольными, при этом яркость изображения интерпретируется как высота для графика. Непрямоугольное изображение сначала масштабируется до квадратного с использованием выборки методом k -ближайших соседей (k -nearest neighbors – KNN), что более удобно для работы искусственного интеллекта.

Исследование аминокислотного состава образцов коллагена и плавленого сыра

Аминокислотный состав образцов изучали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по методике, описанной в МВИ.МН 1363-2000 «Метод определения аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии».

Метод определения содержания аминокислот в плавленых сырах основан на удалении липидов и жироподобных веществ путем экстракции их смесью органических растворителей, кислотном гидролизе белков, предколоночной дериватизации с диметил-аминоазо-бензол-сульфонилхлоридом (ДАБС), получении ДАБС-производных аминокислот и их хроматографировании. В образце коллагена метод включает гидролиз белков, получение ДАБС-производных аминокислот и их разделение с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Хроматографические исследования проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence (Shimadzu Corporation, Япония). Определение аминокислот проводили при длине волны 254 нм на хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence с диодно-матричным-детектированием. Использована хроматогра-

фическая колонка длиной 250 мм, диаметром 4,6 мм MZ-Analysentechnik с фазой ODS (C 18), 5 мкм (MZ-Analysentechnik GmbH, Германия). Хроматографический анализ проведен в градиентном режиме при расходе элюента 1,0 мл/мин и температуре термостата колонки 40–60 °С. Использовали стандартные образцы следующих аминокислот (Sigma-Aldrich Solutions, Германия): аспарагин, глутамин, оксипролин, серин, глицин, гистидин, аргинин, треонин, аланин, пролин, тирозин, валин, лизин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, метионин, цистин и цистеин.

Методы машинного обучения нейросети, извлечения и анализа данных

Для внесения информации в БД использована объектно-реляционная система управления базами данных Oracle Database Express Edition (Oracle, США).

Для удобства пользования БД нами разработано веб-приложение на языке программирования Java в среде Oracle Application Express (Oracle, США), поддерживаемое в любой операционной системе и позволяющее использовать весь инструментарий Oracle Database Express Edition.

Для реализации различного рода отчетности о работе ИС выбрана платформа Oracle Business Intelligence (Oracle, США), использующая весь функционал Oracle для визуализации больших массивов данных и позволяющая сократить время подготовки отчетности за счет встроенного конструктора отчетов и возможности интеграции с широко используемыми форматами Microsoft Office.

Для построения графа нейронной сети использован программный комплекс Deductor Studio (Loginom Company, Россия).

В качестве инструмента для анализа данных и машинного обучения применена среда разработки программного обеспечения PyCharm Community Edition (JetBrains, Чехия) для языка программирования Python, позволяющая использовать все многообразие подключаемых сторонних библиотек: начиная от работы с многомерными массивами (Numpy), визуализации данных (Matplotlib), обработки (в том числе статистической) и анализа данных (Pandas) и заканчивая машинным обучением (Tensorflow, Keras, pyTorch и др.).

Загрузка данных из файла CSV проводилась с помощью библиотеки Pandas, которая позволяет считывать данные в таблицу и показывать для каждого столбца

этой таблицы среднее значение, медиану, максимум и минимум, фильтровать строки и столбцы по заданным критериям.

Далее с использованием стандартной библиотеки Matplotlib на экран выводились гистограммы значений для каждого столбца набора данных, позволяющие быстро и эффективно оценить качество входных данных.

Для анализа набора данных матрицу корреляции строили, используя библиотеку Seaborn.

3 Разработка информационной системы «Рецептуры плавленых сыров» и нейросетевой модели «Пищевые системы»

3.1 Разработка информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»

Информационная система «Рецептуры плавленых сыров» – это база данных и компьютерная программа, работающие совместно.

При проектировании БД использовалась реляционная модель, выбранные инструменты для разработки ИС (Oracle Database Express Edition для БД и Oracle Application Express для программы) являются свободными.

База данных «Рецептуры плавленых сыров» предназначена для накопления, хранения, анализа и выдачи информации о рецептурах плавленых сыров.

БД представляет собой серию электронных таблиц, связанных между собой общими ключевыми полями и предоставляющих для рецептов плавленых сыров сведения из перечня:

- вид плавленого сыра;
- рецептура;
- ингредиент;
- химический состав;
- единицы измерения.

Выбор информации о рецептурах плавленых сыров для наполнения БД осуществляли из следующих источников:

- официально изданные сборники технологических инструкций по производству плавленых сыров;

– информация из публикаций, индексированных в международных базах научного цитирования, а также диссертаций, размещенных в Российской государственной библиотеке, патентов, рецензируемых научных и учебных изданий;

– статистически обработанные результаты собственных исследований.

Для каждой единичной рецептуры источник получения информации указан в соответствующем разделе БД.

Разработанная нами логическая модель БД «Рецептуры плавленых сыров» показана на рисунке 9, физическая модель – на рисунке 10. Размещенные предложенным образом в БД материалы дают возможность оперативно анализировать и выбирать из имеющихся рецептов плавленых сыров необходимую рецептуру на основе различных параметров и их сочетаний. Логическая и физическая модели БД позволяют адаптировать ИС к рецептурам любых пищевых систем, а не только сыров.

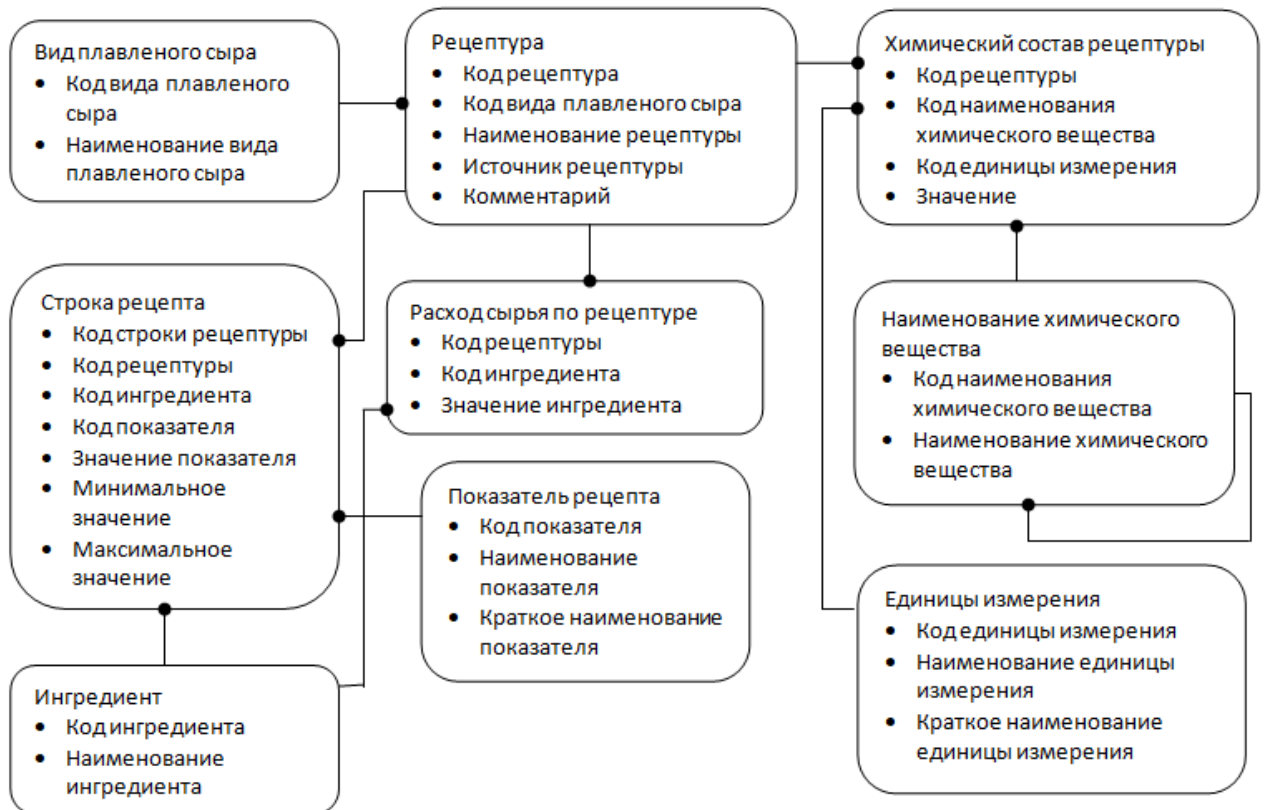


Рисунок 9 – Логическая модель базы данных «Рецептуры плавленых сыров»

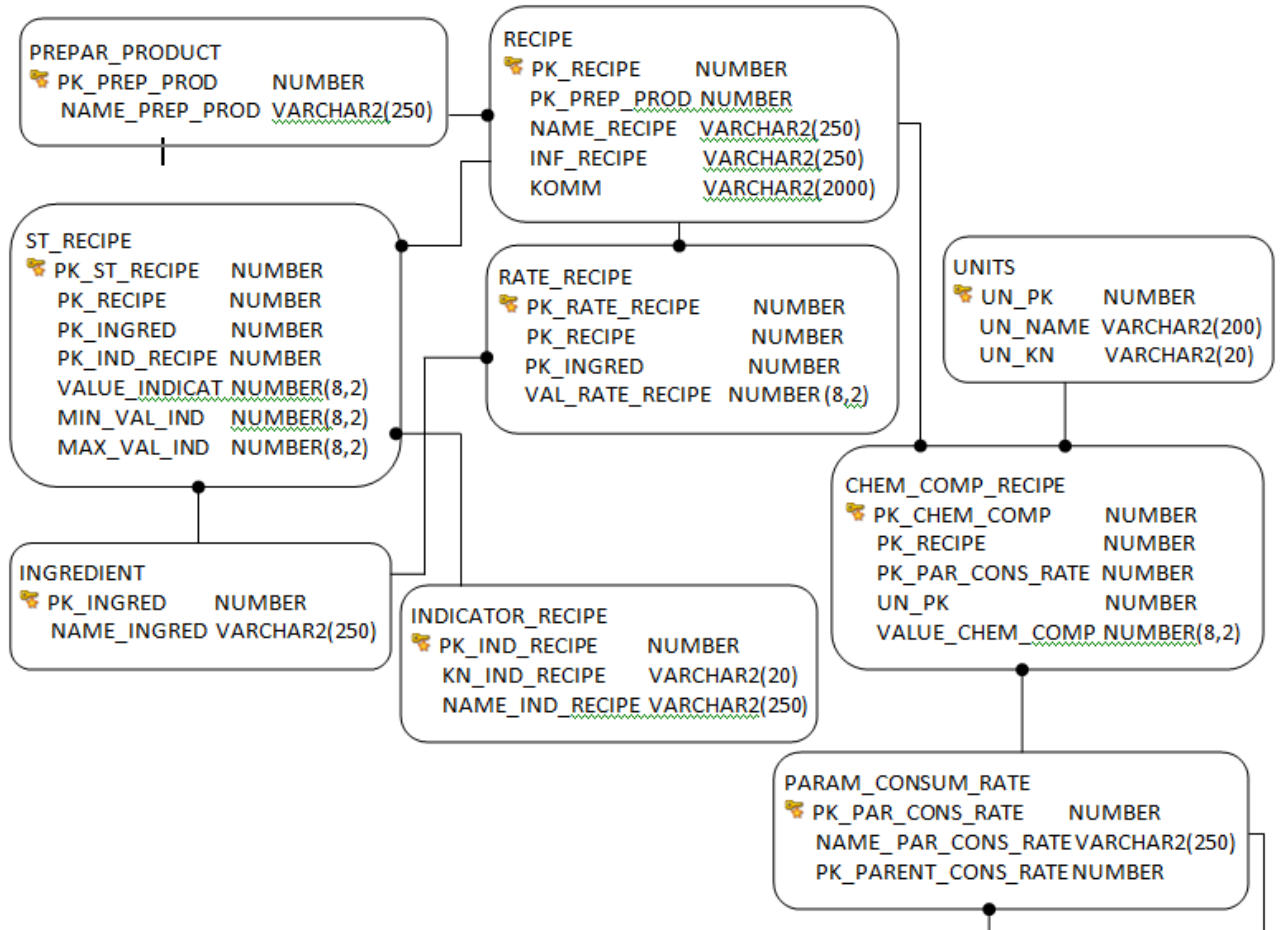


Рисунок 10 – Физическая модель базы данных «Рецептуры плавяных сыров»

На рисунке 11 приведен фрагмент работы по наполнению БД «Рецептуры плавяных сыров». База данных прошла государственную регистрацию под номером 2023620806. На момент регистрации в базе содержалось 869 рецептов плавяных сыров. БД предусматривает возможность пополнения новыми рецептурами плавяных сыров и открыта для корректировки имеющихся рецептов.

Для поддержки функционирования БД на языке программирования Java нами написана программа для управления электронным справочником рецептов плавяных сыров (свидетельство о государственной регистрации № 2023618007). Программа написана в среде разработки Oracle Application Express, что позволяет реализовать веб-приложение, поддерживаемое большим количеством браузеров на любой платформе.

PK_RECIPES	PK_PREP_PROD	NAME_RECIPES	INF_RECIPES
1	424	42 Колбасный с копильным препаратом ВНИИМП (40 %)	2... Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т 38 И.П. Б...
2	425	42 Колбасный с копильным препаратом ВНИИМП (40 %)	3... Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т 38 И.П. Б...
3	426	42 Колбасный с копильным препаратом ВНИИМП (40 %)	4... Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т 38 И.П. Б...
4	67	42 Колбасный с копильным препаратом (30 %)	1 рецепт Справочник технолога молочного производства. Технологи...
5	115	42 Колбасный с копильным препаратом (30 %)	2 рецепт Справочник технолога молочного производства. Технологи...
6	116	42 Колбасный с копильным препаратом (30 %)	3 рецепт Справочник технолога молочного производства. Технологи...
7	117	42 Колбасный с копильным препаратом (30 %)	4 рецепт Справочник технолога молочного производства. Технологи...
8	1001	1 Плавленный сыр с содержания DM, рецептура №1	A.H. Vollmer Mechanisms of structure formation underly...
9	727	1 Плавленный сырный продукт "Алинка" (30 %), рецепту...	Патент РФ № 2011114312/10, 12.04.2011.Композиция для ...
10	728	1 Плавленный сырный продукт "Алинка" (30 %), рецепту...	Патент РФ № 2011114312/10, 12.04.2011.Композиция для ...
11	729	1 Плавленный сырный продукт "Алинка" (30 %), рецепту...	Патент РФ № 2011114312/10, 12.04.2011.Композиция для ...
12	807	1 Плавленный сыр "Атлант", рецептура №1	Патент РФ № 2004106370/13, 27.02.2004.Сыр плавленный "...
13	808	1 Плавленный сыр "Атлант", рецептура №2	Патент РФ № 2004106370/13, 27.02.2004.Сыр плавленный "...
14	809	1 Плавленный сыр "Атлант", рецептура №3	Патент РФ № 2004106370/13, 27.02.2004.Сыр плавленный "...
15	363	41 Балтийский, рецептура №1	Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т 38 И.П. Б...
16	143	41 Балтийский, рецептура №2	Справочник технолога молочного производства. Технологи...
17	144	41 Балтийский с крилем, рецептура №1	Справочник технолога молочного производства. Технологи...
18	364	41 Балтийский с крилем, рецептура №1	Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т 38 И.П. Б...
19	1214	41 Сыр плавленный балтийский с крилем, рецептура №1	Собственные исследования
20	220	41 Балтийский с крилем (30 %)	Сергеев, В.Н. Сборник технологических инструкций по пр...
21	219	41 Балтийский (30 %)	Сергеев, В.Н. Сборник технологических инструкций по пр...
22	1204	41 Сыр плавленный "Балтийский" (30 %), рецептура №1	Собственные исследования

а

PK_PAR_CONS_RATE	PK_PARENT_PAR_CO...	IND_PK	NAME_PAR_CONS_RATE
1	11	1	(null) B1
2	12	1	(null) B2
3	4	1	34 C
4	5	1	32 D
5	6	1	33 E
6	119	123	(null) L-Каритин
7	201	(null)	(null) NH4
8	39	38	52 Аланин
9	139	134	(null) Антоцианины (гликозиды цианидина, мальвидина, пеларгонидина, дельфинидина, пету...
10	40	38	53 Аргинин
11	85	1	(null) Аскорбиновая кислота
12	41	38	54 Аспарагиновая кислота
13	25	(null)	2 Белок
14	96	25	(null) Белок животный
15	17	1	(null) Бета-каротин

б

Рисунок 11 – Заполненные строки таблицы RECIPES (а) и таблицы PARAM_CONSUM_RATE (б) в информационной системе «Рецептуры плавленных сыров»

В ИС «Рецептуры плавленных сыров» входят прошедшие официальную государственную регистрацию компоненты – база данных и компьютерная программа (приложение А).

Информацию из ИС «Рецептуры плавленных сыров» можно получать как напрямую, так и реализовать веб-версию с доступом авторизованных пользователей по логину и паролю (рисунок 12).

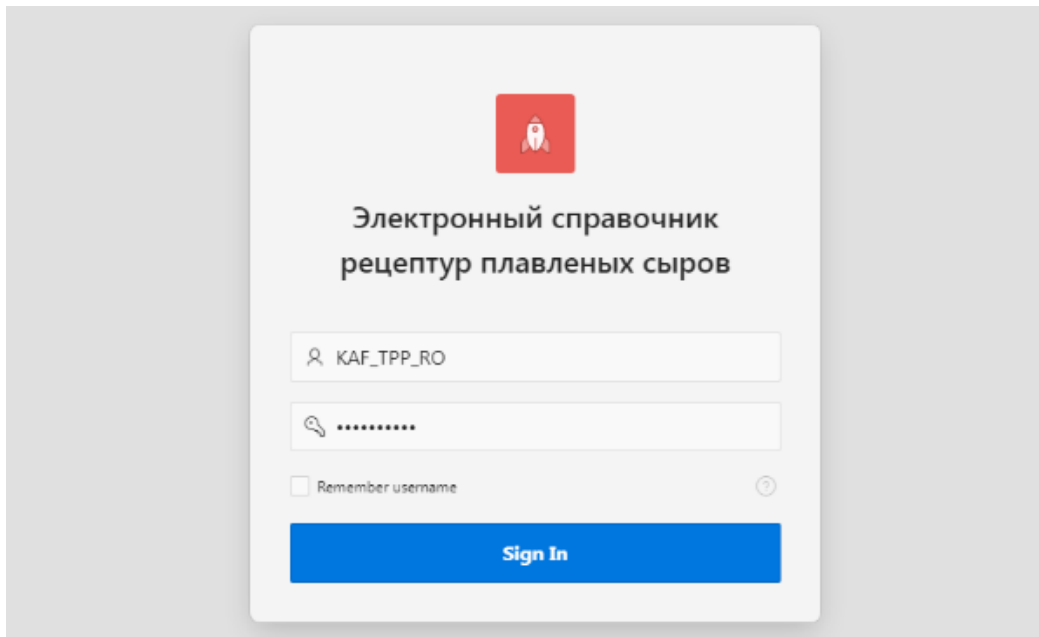


Рисунок 12 – Вход в информационную систему «Рецептуры плавленых сыров» для авторизованных пользователей

ИС «Рецептуры плавленых сыров» позволяет на основе данных о внесенных рецептурах плавленых сыров отбирать рецепты по различным критериям и их сочетаниям; при отсутствии на складе какого-либо вида сырья ИС выводит предложения по замене на основе химического состава ингредиентов.

Возможен поиск ингредиентов для замены в составе рецептуры по конкретному показателю пищевой ценности (например, содержание аминокислот). Так, ИС предложит заменить в рецептуре брынзу (в качестве источника незаменимых аминокислот) на другие конкретные сыры с указанием содержания в них суммы незаменимых аминокислот.

Кроме того, в ИС «Рецептуры плавленых сыров» реализован поиск рецептов по конкретному ингредиенту. Например, будут отфильтрованы рецепты плавленого сыра, включающие молочный альбумин в перечень используемого сырья.

Функционал ИС позволяет отфильтровать рецепты плавленого сыра по наличию информации о конкретном показателе пищевой ценности (например, содержание витамина В₃ в сыре). В результате будут выведены рецепты, содержащие данный показатель пищевой ценности, ранжированные в порядке возрастания содержания витамина В₃.

При онлайн-работе в ИС можно при необходимости выгружать рецепты в формате отчета в Microsoft Excel (рисунок 13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	NO	P
1	плавленный сыр														
2															
3	Рецептура														
4	на плавленный сыр		содержание жира, %												
5	«Сливочный», рецептура №1»														
6	Ароматизатор "Сливочный"	-		4											
7	Молоко коровье сухое обезжиренное	-		261.05											
8	Сливочное масло	72.5		436.55											
9	Сольва-120	-		2											
10	Сольва-820	-		10											
11	Сольва-90	-		3											
12	Соль поваренная	-		3											
13	Сорбат калия	-		.4											
14	Стабилизатор	-		2											
15	Сыворотка сухая	-		55											
16	Сыр нежирный для плавления	-		62											
17	Сыры полутвердые	45		161											
18															
19															
20	Рецептура														
21	на плавленный сыр		содержание жира, %		содержание жира в		содержание								
22	«Без добавок (45 %), рецептура №1»				сухом веществе, %		сухого								
23	Вода питьевая	-			-		-								33.5
24	Масло коровье	82.5			84		-								32.2
25	Молоко коровье сухое обезжиренное	-			93		-								30.3
26	Соль поваренная (безводная)	-			90		-								102

Рисунок 13 – Отчет из ИС «Рецептуры плавленных сыров», выгруженный в MS Excel

ИС может использоваться в качестве электронного справочника технологами, другими специалистами молочной промышленности, научными работниками пищевой отрасли, может быть полезна в расчетах сбалансированных рационов питания.

Инструкция пользователя информационной системы «Рецептуры плавленных сыров» приведена в приложении Б.

3.2 Машинное обучение нейросетевой модели «Пищевые системы»

Машинное обучение необходимо для прогнозирования с использованием возможностей искусственного интеллекта и нейросетевых технологий ожидаемого качества предлагаемой рецептуры плавленого сыра перед его опытной выработкой.

Для обучения нейросети использована описанная выше ИС, включающая БД «Рецептуры плавленых сыров» (№ 2023620806) и «Программу для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров» (№ 2023618007). В ИС входит 869 рецептов плавленых сыров. Нами написана специальная программа для обучения нейросети «Пищевые системы» на языке программирования Python.

В связи с относительно небольшим объемом данных, с которыми будет работать нейросеть (менее 1 000 рецептов плавленых сыров), и для повышения достоверности прогнозирования в нашем диссертационном исследовании была выбрана модель обучения «с учителем» по алгоритму, представленному на рисунке 14. При использовании этой модели обучения нейросеть получает входные обучающие данные, содержащие метки правильных ответов, что позволяет нейросети выявлять закономерности на примерах и в дальнейшем самостоятельно устанавливать метки для данных.

Входные обучающие данные в нашем случае – значения столбцов рецептов, а меткой, содержащей правильный ответ, или целевой переменной, будет введенный нами условный показатель QUALITY (прогнозный индекс) – нормализованная цифровая модель органолептической оценки продукта, адаптированная для машинного обучения и принимающая значение от 0 до 10 условных единиц (шкала обусловлена требованиями устойчивости обучения нейросети). QUALITY – инструмент предиктивной аналитики (прогнозирования оценки органолептических свойств сыра), позволяющий отсеять заведомо неудачные рецептуры до проведения натуральных экспериментов. Прогноз сужает область поиска среди множества возможных рецептов и позволяет сократить количество пробных варок в 5–10 раз.

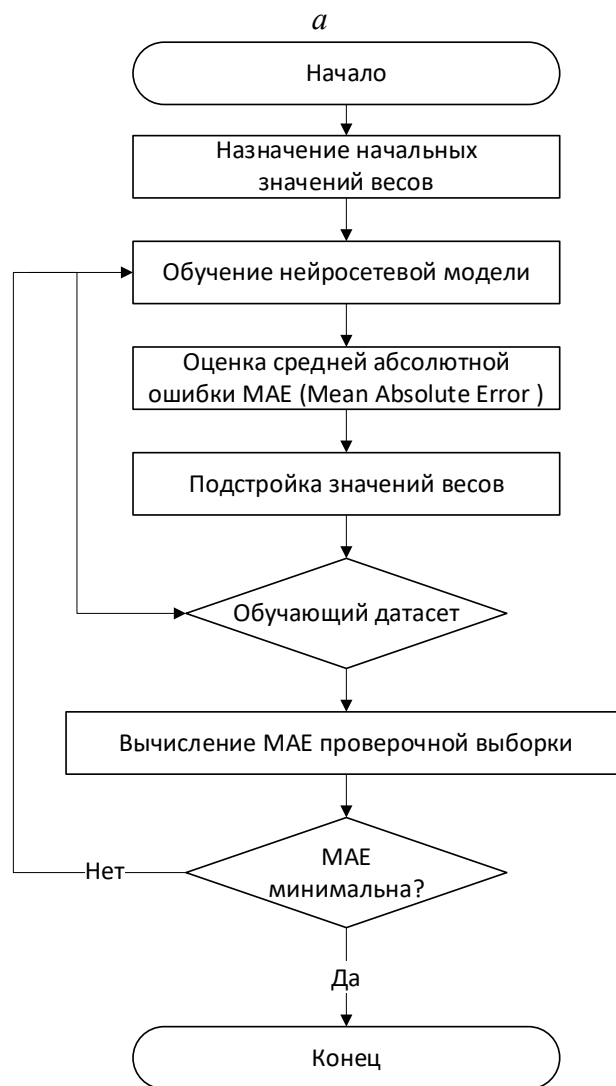
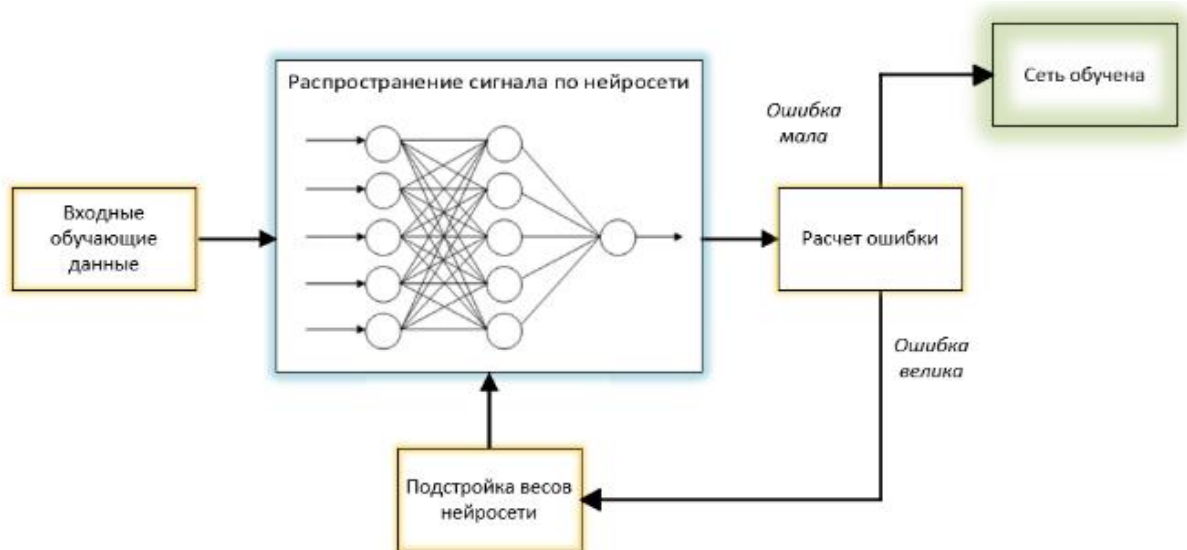


Рисунок 14 – Обучение нейросети «с учителем»:
а – схема процесса; *б* – алгоритм обучения

Обучение нейросети начинается с перемешивания данных в наборе данных, чтобы избежать возможной сортировки по какому-либо признаку и сохранить случайность данных; затем происходит разделение набора на три выборки – обучающая выборка, тестовая выборка, проверочная выборка.

Обучающая выборка – это набор данных, на котором модель обучается, настраивая свои веса и определяя зависимости между входными обучающими данными и целевой переменной. Тестовая выборка – это набор данных, на которых модель не обучалась; этот набор нужен для оценки качества и точности будущих прогнозов, необходим разработчику программы для контроля и отладки своего кода. Проверочная выборка – это набор данных, на которых модель не обучалась; этот набор нужен для оценки качества и точности будущих прогнозов. Обучающая выборка необходима для обучения нейросети, тестовая – для оценки качества обучения нейросети, проверочная выборка поможет еще раз оценить качество обучения нейросети. Обычно при таком разделении выборки соблюдают пропорцию 70:30, где 70 % – обучающая выборка, 30 % – тестовая и проверочная выборки, или 80:20, где 80 % – обучающая выборка, а 20 % – тестовая и проверочная выборки.

Далее необходимо разработать модель нейросети. Под моделью нейросети подразумевается результат работы алгоритма машинного обучения, выполняемый на обучающей выборке и представляющий собой правила, веса и другие данные, специфичные для алгоритма и необходимые для прогнозирования.

Для нашего набора данных мы предлагаем модель нейросети, представленную на рисунке 15 и состоящую из входного слоя на восемь нейронов, двух скрытых слоев по 64 нейрона и выходного слоя из одного нейрона. Граф нейросети выполнен с помощью аналитического приложения Deductor Studio (Loginom Company, Россия). Входной слой – значения столбцов рецептов: массовая доля жира, белков, влаги, жира в сухом веществе, органических кислот, сахарозы, пищевой соли, сухого вещества, выходной слой (целевая переменная) – показатель QUALITY.

Топология нейросети: 8 → 64 → 64 → 1 (обновлённые входные признаки)

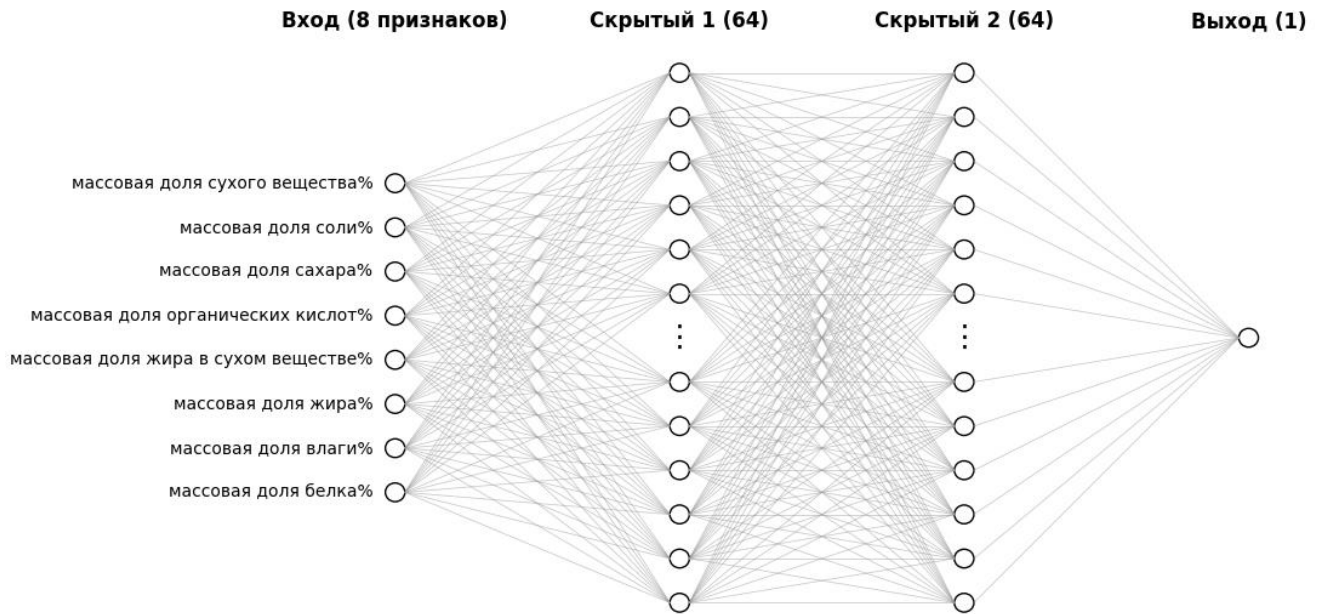


Рисунок 15 – Модель нейросети «Пищевые системы» (граф для обучения)

Обучение нейросети происходит до тех пор, пока она не сможет прогнозировать правильные ответы для тестовой выборки. В связи с тем, что нейросеть не в состоянии освоить с первого раза информацию, содержащуюся в обучающей выборке, необходимо несколько циклов обучения (эпох). Под эпохой понимается, что вся обучающая выборка прошла через нейронную сеть в прямом и обратном направлении. Так как обучающая выборка не может вся проходить через нейросеть, ее делят на пакеты (батчи). Количество итераций – это число пакетов (батчей), необходимых для завершения эпохи.

В нашем эксперименте нейросеть «Пищевые системы» будет обучаться с помощью библиотеки Keras по модели «с учителем» (см. рисунок 14).

3.2.1 Определение необходимого количества циклов обучения нейронной сети «Пищевые системы» и оценка стабильности модели обучения

Для того чтобы определить оптимальное количество циклов обучения, необходимо в процессе обучения модели нейросети контролировать среднюю абсолютную ошибку (mean absolute error, *MAE*), которая позволяет определить точность функционирования предлагаемой нами модели нейросети. Чем ниже *MAE*, тем точнее модель способна предсказывать (прогнозировать) фактические значения.

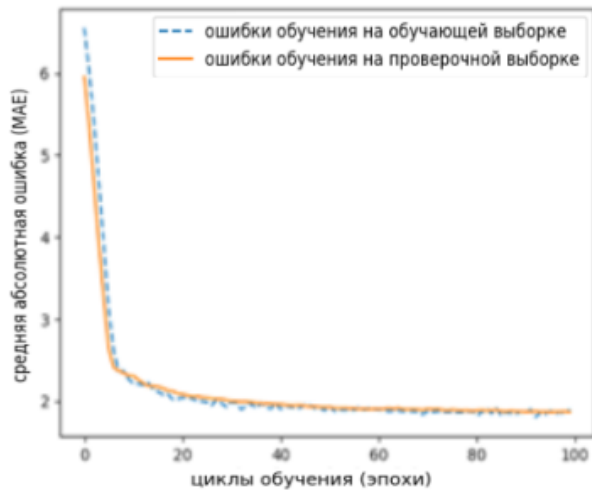
Средняя абсолютная ошибка *MAE* вычисляется по формуле

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (5)$$

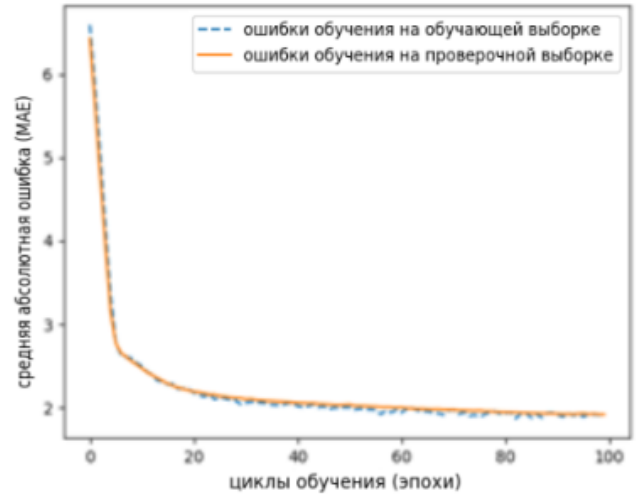
где y_i – наблюдаемое значение для i -го цикла обучения или эпохи; \hat{y}_i – прогнозируемое значение для i -го цикла обучения или эпохи; n – общее количество циклов обучения или эпох.

Нейросеть «Пищевые системы» создана для прогнозирования ожидаемого качества рецептуры. Точность прогноза будем оценивать по значению *MAE* проверочной выборки (формула (5)). Оптимальное количество циклов обучения будем определять исходя из минимального значения средней абсолютной ошибки проверочной выборки.

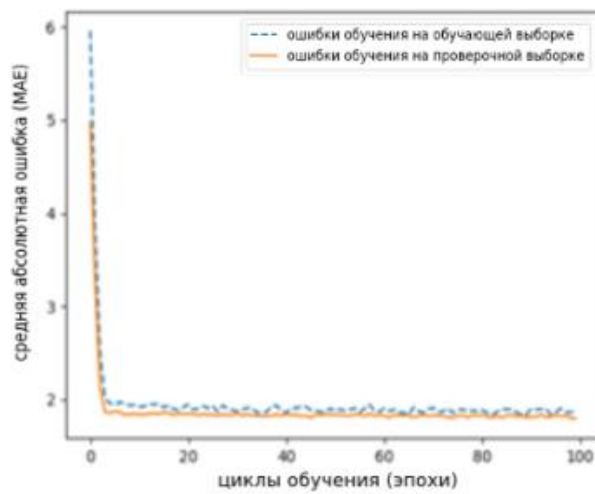
Для обучения нейросети нужно выбрать функцию активации и алгоритм-оптимизатор. Выбор осуществлен среди следующих функций активации – linear, sigmoid, tanh, ReLu, и алгоритмов-оптимизаторов – SGD, RMSProp, Adam. Для обоснования выбора проведен поиск глобального минимума ошибки нейросети «Пищевые системы» при различных сочетаниях функций активации и алгоритмов-оптимизаторов (рисунок 16).



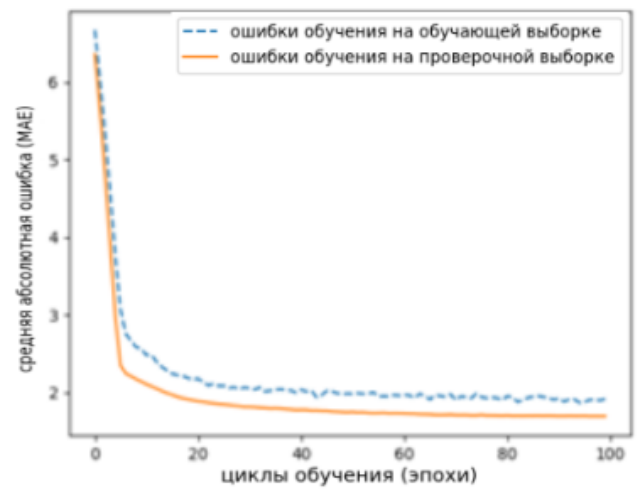
а



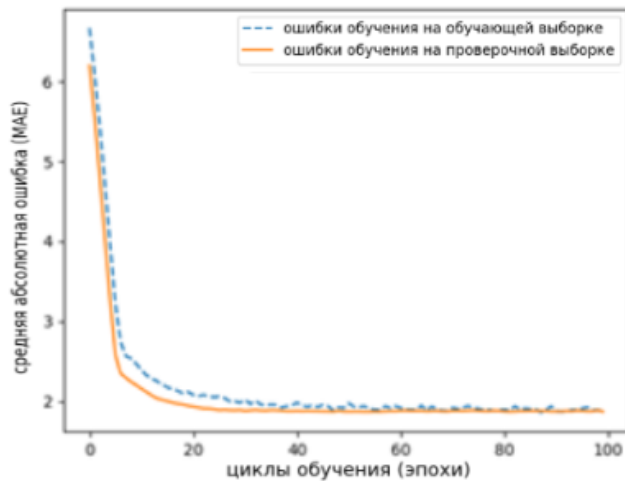
б



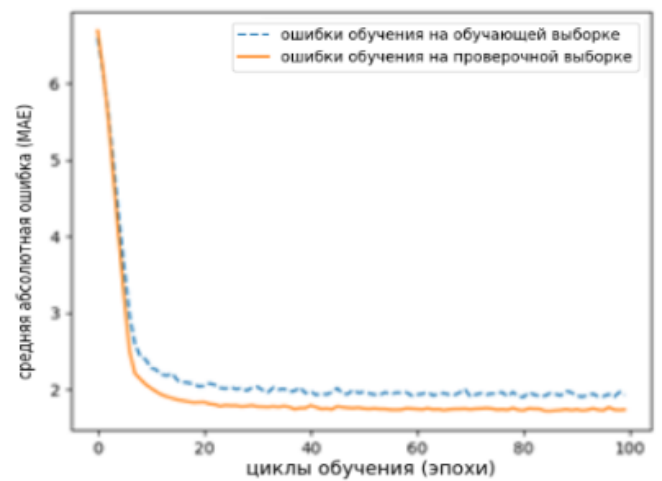
в



г



д



е

Рисунок 16 – Поиск глобального минимума ошибки нейросети при различных сочетаниях функций активации и оптимизаторов:
 а – ReLu и Adam; б – linear и Adam; в – sigmoid и Adam;
 г – tanh и Adam; д – ReLu и SGD; е – ReLu и RMSprop

В эксперименте установлено, что наиболее эффективно нейросеть «Пищевые системы» будет обучаться по модели «с учителем» и с использованием функции активации ReLu в сочетании с алгоритмом-оптимизатором Adam (рисунок 17). Совокупность этих инструментов демонстрирует минимальный разброс *MAE* выборок, за период обучения наблюдается нисходящий (убывающий) тренд.

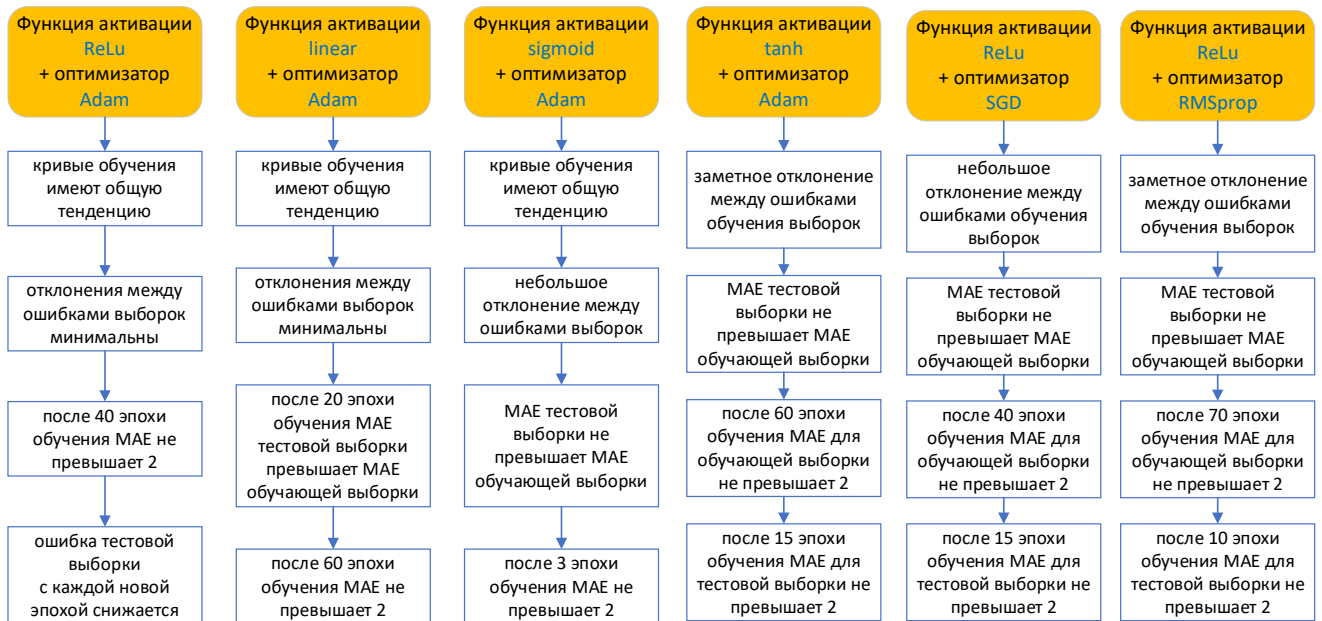


Рисунок 17 – Выбор сочетания функции активации и алгоритма-оптимизатора

Для доказательства стабильности модели обученной нейросети «Пищевые системы» и исключения варианта с локальным минимумом ошибки, проведено обучение нейронной сети до 5 000 эпох (приложение В). Установлено (таблица 4), что до 40-й эпохи обучения наблюдается значительный разброс в *MAE* обучающей и проверочной выборок, при дальнейшем обучении нейросети до 500 эпох ошибки на обеих выборках стабилизируются, значение *MAE* колеблется в пределах 1,93–1,75, минимальная *MAE* проверочной выборки наблюдается на 490-й эпохе обучения и составляет 1,75. При дальнейшем обучении нейронной сети с 500-й по 5 000-ю эпоху значение *MAE* уменьшается незначительно и колеблется в пределах 1,88–1,66, минимальная *MAE* проверочной выборки наблюдается на 3 950-й и 4 100-й эпохах обучения и составляет 1,66.

Таблица 4 – Влияние количества циклов обучения нейронной сети на сходимость *MAE* обучающей и проверочной выборки

Количество эпох	<i>MAE</i> обучающей выборки	<i>MAE</i> проверочной выборки	Модуль разницы между <i>MAE</i>
10	2,15	2,26	0,11
20	1,98	1,82	0,16
30	1,98	1,85	0,13
40	1,96	1,94	0,02
50	1,91	1,93	0,02
60	1,89	1,91	0,02
70	1,85	1,87	0,02
80	1,87	1,86	0,01
90	1,85	1,89	0,04
100	1,85	1,87	0,02
110	1,84	1,87	0,03
120	1,85	1,83	0,02
130	1,85	1,87	0,02
140	1,81	1,78	0,03
150	1,82	1,84	0,02
160	1,84	1,86	0,02
170	1,80	1,76	0,04
180	1,87	1,85	0,02
190	1,85	1,87	0,02
200	1,81	1,84	0,03
210	1,83	1,81	0,02
220	1,85	1,87	0,02
230	1,85	1,82	0,03
240	1,86	1,87	0,01
250	1,86	1,85	0,01
260	1,85	1,87	0,02
270	1,85	1,86	0,01
280	1,83	1,84	0,01
290	1,80	1,83	0,03
300	1,85	1,83	0,02
310	1,86	1,90	0,04
320	1,81	1,83	0,02
330	1,84	1,86	0,02
340	1,83	1,85	0,02
350	1,85	1,82	0,03
360	1,85	1,82	0,03
370	1,83	1,82	0,01

Количество эпох	<i>MAE</i> обучающей выборки	<i>MAE</i> проверочной выборки	Модуль разницы между <i>MAE</i>
380	1,83	1,81	0,02
390	1,84	1,79	0,05
400	1,83	1,82	0,01
410	1,82	1,78	0,04
420	1,8	1,81	0,01
430	1,79	1,80	0,01
440	1,8	1,82	0,02
450	1,84	1,86	0,02
460	1,82	1,80	0,02
470	1,79	1,81	0,02
480	1,81	1,84	0,03
490	1,77	1,75	0,02
500	1,82	1,85	0,03
550	1,8	1,82	0,02
600	1,83	1,82	0,01
650	1,83	1,86	0,03
700	1,84	1,86	0,02
750	1,83	1,86	0,03
800	1,78	1,76	0,02
850	1,85	1,83	0,02
900	1,84	1,88	0,04
950	1,77	1,75	0,02
1000	1,78	1,75	0,03
1050	1,82	1,84	0,02
1100	1,8	1,82	0,02
1150	1,82	1,8	0,02
1200	1,84	1,82	0,02
1250	1,79	1,81	0,02
1300	1,80	1,82	0,02
1350	1,81	1,79	0,02
1400	1,80	1,82	0,02
1450	1,75	1,77	0,02
1500	1,74	1,76	0,02
1550	1,79	1,77	0,02
1600	1,78	1,80	0,02
1650	1,79	1,77	0,02
1700	1,78	1,79	0,01

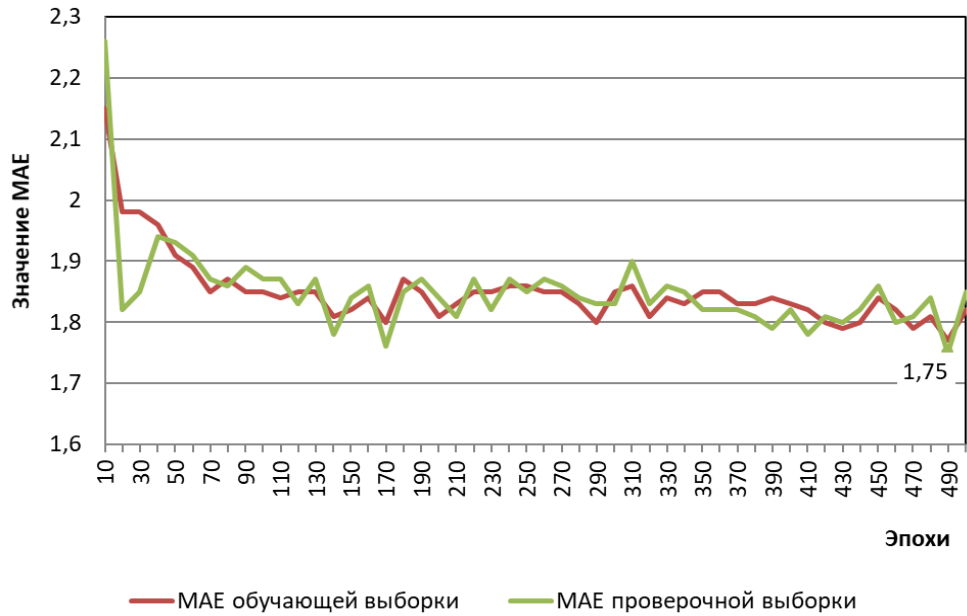
Продолжение таблицы 4

Количество эпох	<i>MAE</i> обучающей выборки	<i>MAE</i> проверочной выборки	Модуль разницы между <i>MAE</i>
1750	1,78	1,81	0,03
1800	1,79	1,81	0,02
1850	1,77	1,79	0,02
1900	1,78	1,76	0,02
1950	1,78	1,76	0,02
2000	1,75	1,77	0,02
2050	1,80	1,78	0,02
2100	1,77	1,79	0,02
2150	1,76	1,77	0,01
2200	1,77	1,75	0,02
2250	1,75	1,77	0,02
2300	1,77	1,74	0,03
2350	1,76	1,75	0,01
2400	1,78	1,76	0,02
2450	1,76	1,73	0,03
2500	1,74	1,71	0,03
2550	1,75	1,75	0
2600	1,74	1,77	0,03
2650	1,77	1,73	0,04
2700	1,75	1,79	0,04
2750	1,75	1,75	0
2800	1,78	1,80	0,02
2850	1,77	1,80	0,03
2900	1,76	1,80	0,04
2950	1,79	1,77	0,02
3000	1,79	1,77	0,02
3050	1,76	1,78	0,02
3100	1,76	1,80	0,04
3150	1,76	1,78	0,02
3200	1,72	1,75	0,03
3250	1,74	1,78	0,04
3300	1,75	1,73	0,02
3350	1,77	1,80	0,03

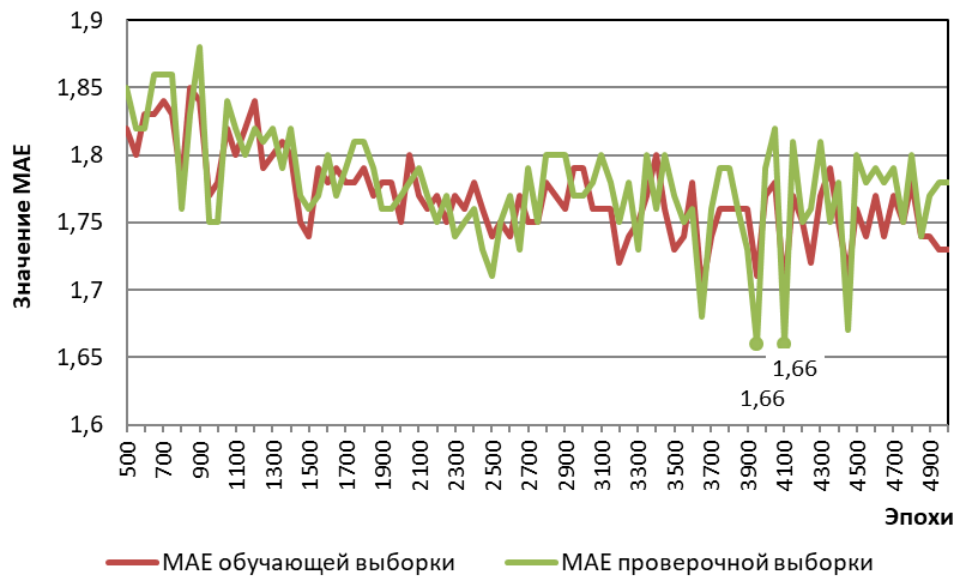
Количество эпох	<i>MAE</i> обучающей выборки	<i>MAE</i> проверочной выборки	Модуль разницы между <i>MAE</i>
3400	1,80	1,76	0,04
3450	1,76	1,80	0,04
3500	1,73	1,77	0,04
3550	1,74	1,75	0,01
3600	1,78	1,76	0,02
3650	1,70	1,68	0,02
3700	1,74	1,76	0,02
3750	1,76	1,79	0,03
3800	1,76	1,79	0,03
3850	1,76	1,76	0
3900	1,76	1,73	0,03
3950	1,71	1,66	0,05
4000	1,77	1,79	0,02
4050	1,78	1,82	0,04
4100	1,70	1,66	0,04
4150	1,77	1,81	0,04
4200	1,75	1,75	0
4250	1,72	1,76	0,04
4300	1,77	1,81	0,04
4350	1,79	1,75	0,04
4400	1,75	1,78	0,03
4450	1,71	1,67	0,04
4500	1,76	1,80	0,04
4550	1,74	1,78	0,04
4600	1,77	1,79	0,02
4650	1,74	1,78	0,04
4700	1,77	1,79	0,02
4750	1,75	1,75	0
4800	1,78	1,80	0,02
4850	1,74	1,74	0
4900	1,74	1,77	0,03
4950	1,73	1,78	0,05
5000	1,73	1,78	0,05

Выявлено, что для нейросети «Пищевые системы» после 40-го цикла обучения и на протяжении 5 000 эпох значение *MAE* выходит на плато (рисунок 18), что

доказывает стабильность предложенной нами модели нейросети обученной «с учителем». При этом среднюю абсолютную ошибку проверочной выборки удалось снизить с 2 до 1,66.



а



б

Рисунок 18 – Зависимость MAE обучающей и проверочной выборок нейросети «Пищевые системы» от количества эпох обучения: а – 10–500-я эпохи обучения; б – 500–5 000-я эпохи обучения

Нейросеть, полученная в результате обучения, будет способна прогнозировать QUALITY с определенной достоверностью. Поскольку нами принято, что QUALITY принимает значение от 1 до 10, то значение ошибки в процентном отношении составляет 16,6 %. Дополнительно снизить получаемую ошибку можно расширением исходной выборки – добавлением в БД новых рецептов.

Для нейросети «Пищевые системы» путем перебора циклов обучения от 8 до 5 000 эпох и анализа величины *MAE* установлено, что среднюю абсолютную ошибку проверочной выборки на уровне не более 20 % позволят обеспечить следующие параметры:

- количество циклов обучения (эпох) – не менее 40;
- количество пакетов (батчей) – 10;
- количество итераций – 10 % от исходного набора данных (для нашего набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, количество итераций составит 87).

3.2.2 Обучение нейронной сети «Пищевые системы» на наборе данных информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»

Машинное обучение нейросети «Пищевые системы» проводилось посредством написанной на языке Python в среде PyCharm Community Edition программы (№ 2023684297, приложение А) с использованием набора данных ИС «Рецептуры плавленых сыров». Предварительно проверено, что все значения в наборе данных не имеют пропусков, все типы корректные и являются числовыми.

На первом этапе был подготовлен файл данных CSV (comma-separated values), включающий рецепты и показатели, типичные для плавленых сыров (массовая доля белка, влаги, сухих веществ, жира в сухом веществе и т.д.), фигурирующие в предлагаемой нами модели нейросети «Пищевые системы» (см. рису-

нок 15). Если единичный показатель для конкретной рецептуры не задан, его значение приравнивалось к нулю. В файл CSV также включено поле QUALITY.

Для обучения нейронной сети «Пищевые системы» поле QUALITY заполнено сгенерированными рандомизированными данными исходя из предпосылки о том, что рецептуры из официальных источников априори «хорошие» и обладают показателем качества 6–10 условных единиц, а смоделированные тренировочные («плохие») рецептуры – от 1 до 5. Таким образом, нейросеть «Пищевые системы» получила входные обучающие данные, содержащие метки правильных и неправильных ответов о рецептурах и показателях для плавленого сыра.

Для визуального анализа информации, содержащейся в наборе входных обучающих данных, использованы гистограммы столбцов. Для определения зависимостей между столбцами использована матрица корреляции. Данная матрица визуально показывает линейную зависимость между значениями столбцов с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Значение коэффициента Пирсона принимается в пределах от -1 до 1 , где -1 указывает на отрицательную линейную корреляцию между двумя столбцами; 1 – на положительную линейную корреляцию между двумя столбцами; 0 – на отсутствие линейной корреляции между двумя столбцами. Чем больше по модулю коэффициент корреляции, тем сильнее связь между двумя переменными. Для удобства анализа матрица окрашивается в разные цвета в зависимости от коэффициента корреляции.

При этом следует обратить внимание на два факта. Во-первых, диагональные значения в матрице корреляции всегда равны единице, потому что корреляция между переменной и самой собой всегда равна единице. Во-вторых, поскольку матрица корреляции симметрична относительно диагональных значений, для анализа значений следует рассматривать нижнюю треугольную часть матрицы.

Перед обучением нейросети сделана предварительная оценка входных обучающих данных, включающая анализ гистограммы столбцов (рисунок 19) и матрицы корреляции (рисунок 20).

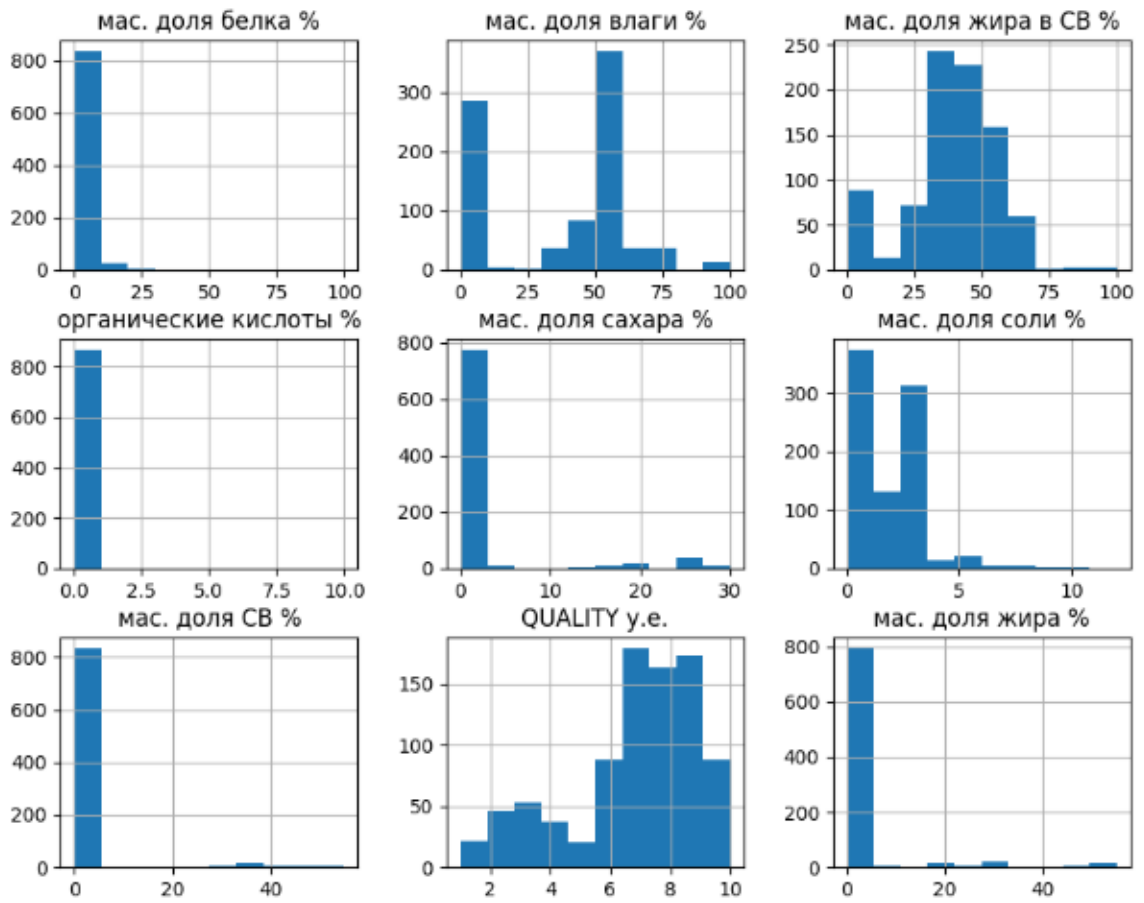


Рисунок 19 – Гистограммы столбцов входных обучающих данных

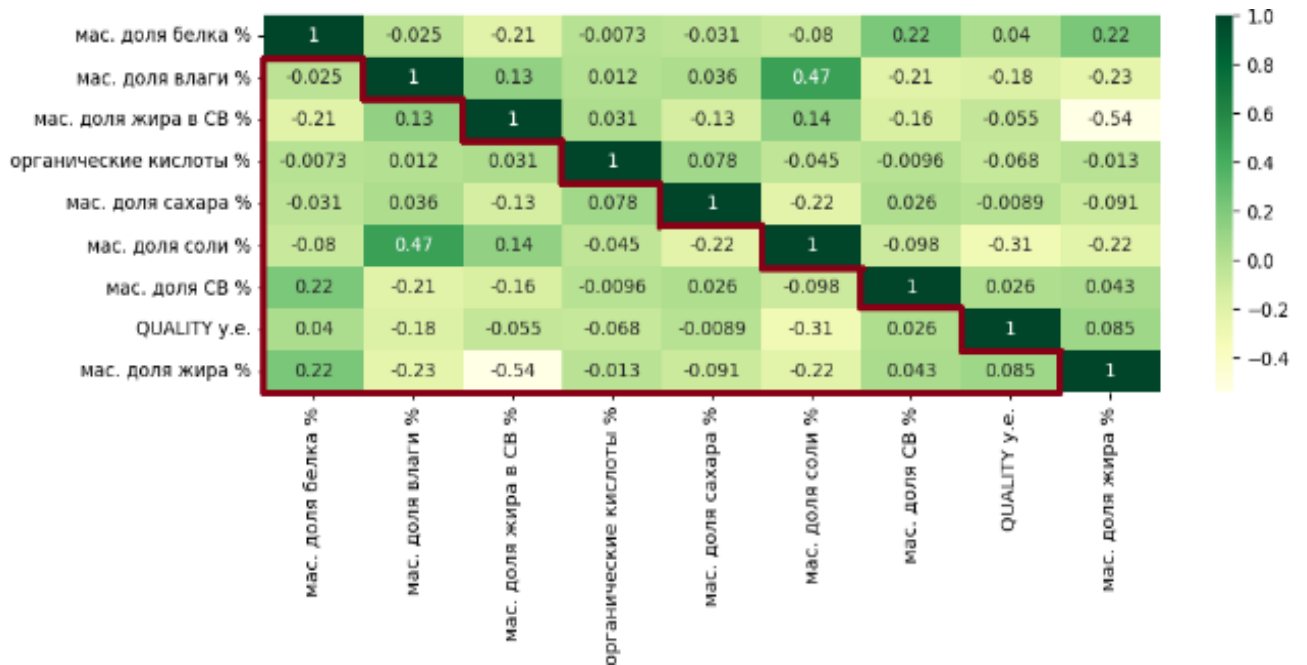


Рисунок 20 – Матрица корреляции

Гистограммы столбцов входных обучающих данных показывают правильность выбора столбцов для обучения нейронной сети (значения столбцов, отличные от нуля), матрица корреляции дает информацию о зависимости столбцов друг от друга.

Далее происходит собственно процесс обучения нейросети.

Обучение начинается с перемешивания данных в наборе, чтобы избежать возможной сортировки по какому-либо признаку и сохранить случайность данных. Затем набор данных разделяется на три выборки – обучающую, тестовую и проверочную в пропорции 80:20, где 80 % – обучающая выборка, а 20 % – тестовая и проверочные выборки.

Из набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, выделяем обучающую выборку, содержащую 695 рецептов (80 % от общего количества рецептов), тестовую выборку, которая включает 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов), и проверочную выборку, которая также составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов).

Обучение проведено в соответствии с ранее установленными параметрами: количество циклов обучения 100 (с повышающим коэффициентом 2,5 относительно рекомендуемой в п. 3.2.1 величины), количество пакетов – 10, количество итераций – 87.

Сначала нейросетью «Пищевые системы» проведен анализ по всей базе рецептов в целом. Если значения хотя бы одного столбца не заполнены, необходимо провести дополнительную обработку некорректно заполненных строк.

Анализ проводился по значениям следующих столбцов:

- массовая доля влаги, %;
- массовая доля жира в сухом веществе, %;
- массовая доля жира, %;
- массовая доля пищевой соли, %;
- массовая доля белка, %;
- массовая доля органических кислот, %;

- массовая доля сахарозы, %;
- массовая доля сухого вещества, %;
- QUALITY (от 0 до 10 условных единиц).

Значения этих столбцов в виде гистограммы представлены на рисунке 21, а матрица корреляции – на рисунке 22.

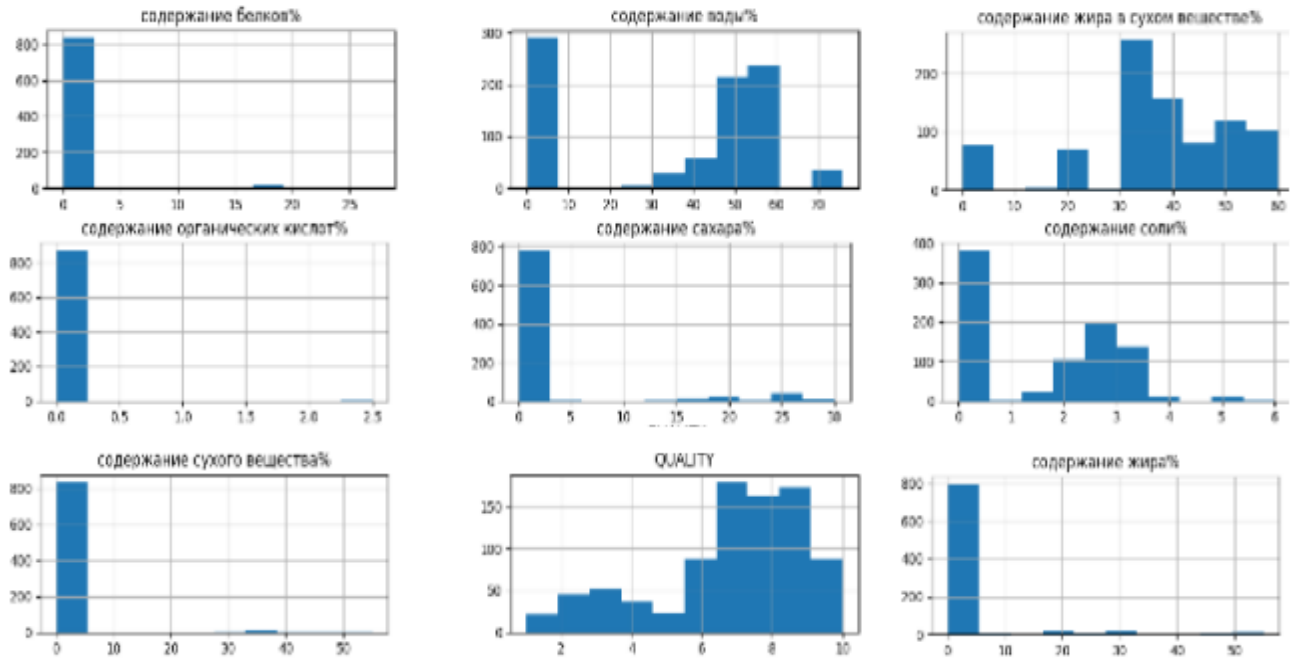


Рисунок 21 – Гистограмма исходных столбцов для плавленых сыров



Рисунок 22 – Матрица корреляции для плавленых сыров

Путем анализа матрицы корреляции установлено, что массовая доля жира и массовая доля белка, массовая доля сухого вещества и массовая доля белка, массовая доля жира в сухом веществе и массовая доля влаги, массовая доля соли и массовая доля влаги, массовая доля соли и массовая доля жира в сухом веществе имеют положительную корреляцию. Массовая доля жира и массовая доля влаги, массовая доля жира в сухом веществе и массовая доля белка, массовая доля соли и массовая доля белков, массовая доля сухого вещества и массовая доля влаги, массовая доля жира в сухом веществе и массовая доля жира, массовая доля соли и массовая доля жира, массовая доля сахарозы и массовая доля жира в сухом веществе, массовая доля сухого вещества и массовая доля жира в сухом веществе, массовая доля соли и массовая доля сахарозы, массовая доля сухого вещества и массовая доля соли имеют отрицательную корреляцию. Остальные пары имеют слабую зависимость между столбцами.

После анализа данных запускаем обучение нейросети «Пищевые системы», из набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, выделяем обучающую выборку, содержащую 695 рецептов (80 % от их общего количества), тестовую выборку, которая включает 87 рецептов (10 %), и проверочную выборку, которая также составляет 87 рецептов (10 %).

Гистограммы, отражающие распределение баллов качества рецептов в этих выборках, представлены на рисунке 23.

По итогам 100 циклов обучения установлено, что средняя абсолютная ошибка *MAE* стремится к нулю, предложенные параметры обучения стабильны. График зависимости *MAE* от количества циклов для обучающей и проверочной выборок изображен на рисунке 24: подтвердился вывод о достаточности 40 циклов обучения.

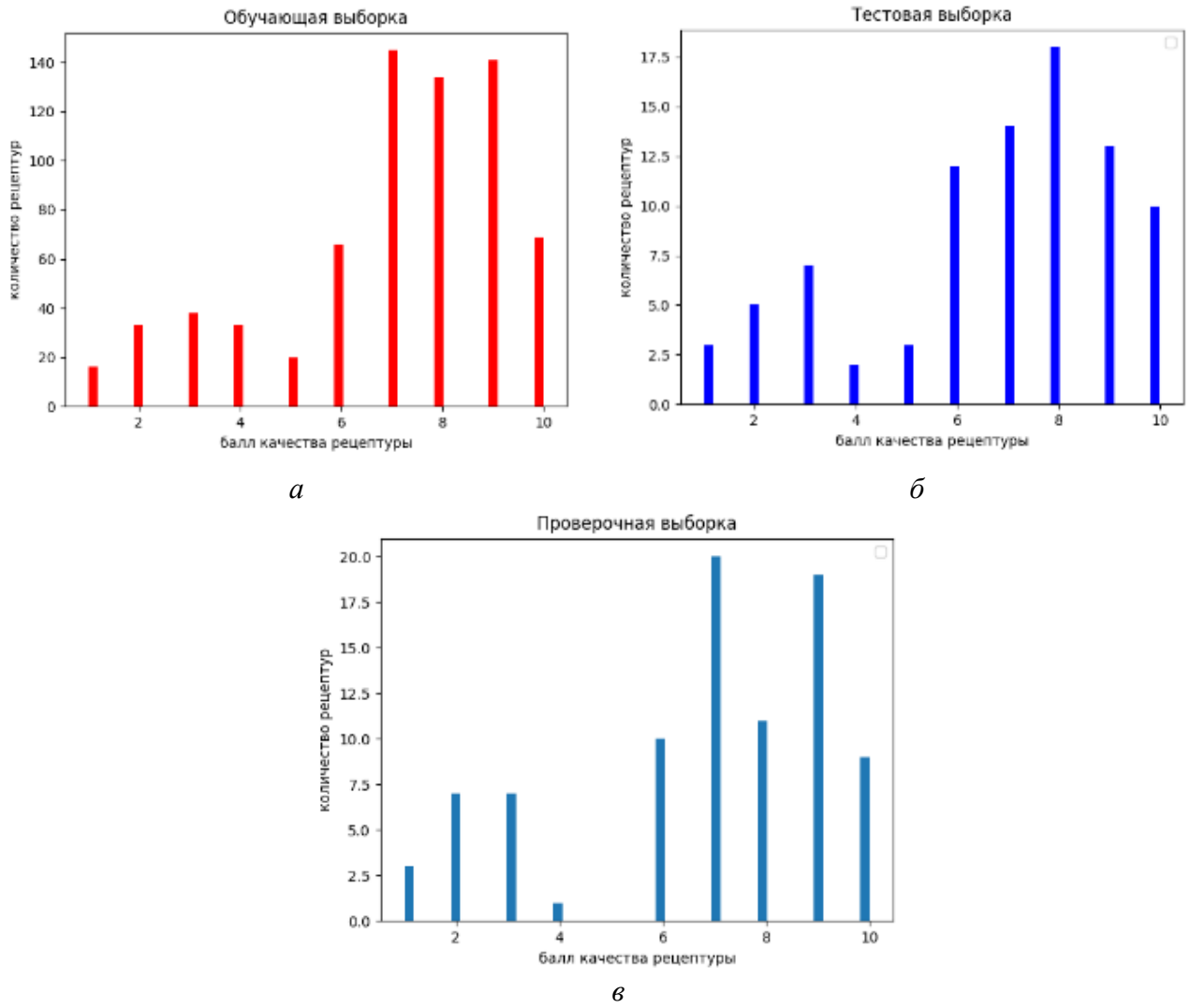


Рисунок 23 – Гистограммы плавленого сыра:
a – обучающая выборка; *б* – тестовая выборка; *в* – проверочная выборка

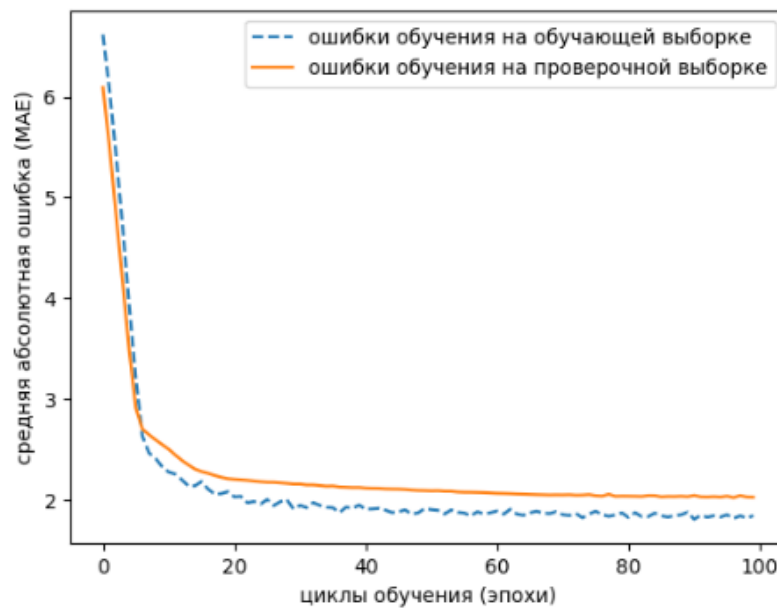


Рисунок 24 – Зависимость средней абсолютной ошибки от количества циклов обучения

Для внесенной нами в БД модельной (тестовой) рецептуры плавленого сыра с входными параметрами, указанными на рисунке 25, нейросеть «Пищевые системы» прогнозирует значение QUALITY = 5,58 условных единиц из 10 максимальных, достоверность прогноза 67,1 %.

```

Достоверность - 67.06640084404344%
Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры рецепта. Если параметр для рецепта не задан, введите 0.
Введите значение показателя - содержание воды %
50
Введите значение показателя - содержание жира в сухом веществе %
45
Введите значение показателя - содержание органических кислот %
0
Введите значение показателя - содержание сахара %
0
Введите значение показателя - содержание соли %
2
[50.0, 45.0, 0.0, 0.0, 2.0]
[[50. 45. 0. 0. 2.]]
1/1 [=====] - 0s 12ms/step
[[5.5796275]]
Ожидаемое значение - [5.5796275]

```

Рисунок 25 – Прогнозирование нейросетью «Пищевые системы» ожидаемого качества рецептуры плавленого сыра

Установленный нами целевой показатель достоверности прогнозирования составляет не менее 80 %. При выборе величины целевого показателя достоверности прогнозирования ориентировались на данные предварительного национального стандарта РФ ПНСТ 870-2023 «Искусственный интеллект в переработке сельскохозяйственной продукции и производстве пищевой продукции. Варианты использования для автоматизации управления процессами» (утв. приказом Росстандарта от 13 ноября 2023 г. № 55-пнст), где даны примеры применения в пищевой отрасли инструментов, основанных на использовании искусственного интеллекта.

Для повышения достоверности прогноза предложено анализировать не весь массив рецептур, а более однородные группы. В частности, из общего массива выделены рецептуры пастообразных плавленых сыров и проведен анализ и обучение нейросети «Пищевые системы» по описанному выше алгоритму.

Для смоделированной нами тестовой рецептуры плавленого пастообразного сыра с входными параметрами, указанными на рисунке 26, нейросеть «Пищевые

системы» прогнозирует значение $QUALITY = 3,07$ условных единиц, достоверность прогноза 80,34 %. Таким образом, переход к более однородной выборке позволил повысить достоверность прогноза на 13,24 % и превысить целевое значение в 80 %.

```

Достоверность - 80.33942962323547%
Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры рецепта. Если параметр для рецепта не задан, введите 0.
Введите значение показателя - содержание воды %
49
Введите значение показателя - содержание жира %
0
Введите значение показателя - содержание жира в сухом веществе %
61
Введите значение показателя - содержание соли %
2
[49.0, 0.0, 61.0, 2.0]
[[49. 0. 61. 2.]]
1/1 [=====] - 0s 12ms/step
[[3.0726159]]
Ожидаемое значение - [3.0726159]

```

Рисунок 26 – Прогнозирование нейросетью «Пищевые системы» ожидаемого качества тестовой рецептуры плавленого пастообразного сыра

В результате анализа процесса обучения нейросети установлено, что для корректной работы нейросети необходимо, чтобы после разделения набора данных на обучающую, тестовую и проверочную выборки все возможные значения баллов качества рецептуры фигурировали в каждой выборке, что достигается при наличии в наборе данных не менее 200 рецептов.

3.2.3 Валидация прогнозной способности нейронной сети «Пищевые системы» на модельных рецептурах плавленых пастообразных сыров

Далее проведена валидация прогнозной способности обученной нейросети через натурный эксперимент на модельных рецептурах: прогноз нейросети → натурный эксперимент с пробной варкой → дегустация → сравнение оценок по прогнозу и по факту.

Для стресс-тестирования нейросети смоделирована линейка из 14 вариантов рецептур с целенаправленной диверсификацией наполнителей за пределами обучающей выборки: с минорным внесением ГК, лецитина, пшеничных отрубей, а также с наполнителями из разных групп сырья – зерновые (отруби пшеничные, овсяные, ростки ячменя), плодово-ягодные (манго, клубника, ирга, семена ягод какао), овощные (томаты), мед, бетулин (таблица 5). Наполнители выбраны как традиционно используемые в составе плавленого сыра (какао), так и менее гармонично сочетающиеся с сырной основой (манго, ирга), а также те, которые дадут неопределенные результаты при использовании в рецептуре сыров (ростки ячменя, бетулин).

Целенаправленная диверсификация наполнителей позволит провести стресс-тестирование модели и подтвердить ее обобщающую способность за пределами обучающей выборки. Новые рецептуры (см. таблицу 5) внесены в ИС «Рецептуры плавленых сыров».

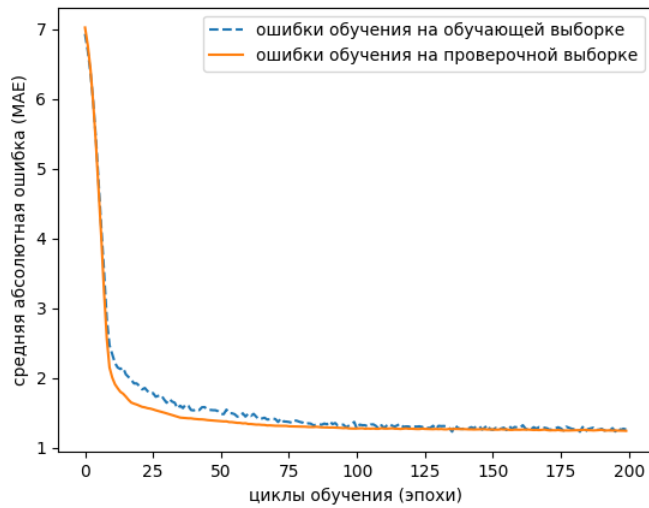
На основе данных, внесенных в ИС «Рецептуры плавленых сыров», проведен анализ 14 новых рецептур с помощью обученной нейронной сети «Пищевые системы», в результате чего выдается прогнозное значение QUALITY и достоверность прогноза.

Для дополнительной проверки правильности ранее сделанного нами вывода о достаточности 40 циклов обучения и с учетом того, что рецептуры новые, выбрано количество циклов обучения с резервом, а именно – 200 циклов.

После проведения запланированного количества циклов обучения (200) установлено, что средняя абсолютная ошибка *MAE* стремится к нулю, график зависимости *MAE* от количества циклов для обучающей и проверочной выборки изображен на рисунке 27, еще раз подтвердился вывод о достаточности 40 циклов обучения.

Таблица 5 – Рецептуры сыра плавленого пастообразного с массовой долей жира в сухом веществе 60 % (на 1 т)

Наименование сырья	Масса, кг													
	Коллаген гидролизванный	Лецитин подсолнечника	Отруби пшеничные	Отруби овсяные	Пшеничные и овсяные отруби	Ростки ячменя сушеные	Манго сушеное молотое	Клубника сушеная молотая	Томаты сушеные молотые	Ирги сироп	Какао-порошок	Мед цветочный	Бетулин	Сливочный
Сыр сычужный полутвердый с массовой долей сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %	329,1	330,1	345,1	345,1	345,1	345,1	350,1	350,1	310,1	340,1	340,1	310,1	358,6	360,1
Творог с массовой долей сухого вещества 25 %, жира 5 %	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0
Масло крестьянское сладко-сливочное с массовой долей сухого вещества 75 %, жира 72,5 %	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1	284,1
Сливки с массовой долей сухого вещества 41 %, жира 35 %	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2
Сухое обезжиренное молоко с массовой долей сухого вещества 96 %	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8
Соль пищевая	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Соль-плавитель	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
Лимонная кислота	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Наполнитель	31,0	30,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0	50,0	20,0	20,0	50,0	1,5	0,0
Вода питьевая	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4	168,4
<i>Всего</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>	<i>1020,0</i>
Выход	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0



Достоверность - 81.04319060736167%

Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецептуры.

Введите значение показателя - массовая доля жира%

0

Введите значение показателя - массовая доля белка%

0

Введите значение показателя - массовая доля влаги%

50.1

Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%

60.2

Введите значение показателя - органические кислоты%

0

Введите значение показателя - массовая доля сахара%

0

Введите значение показателя - массовая доля соли%

0.18

Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%

0

[0.0, 0.0, 50.1, 60.2, 0.0, 0.0, 0.18, 0.0]

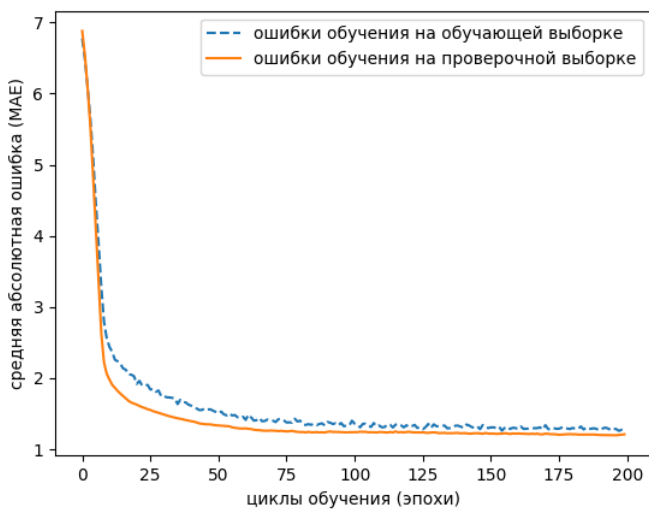
[[0. 0. 50.1 60.2 0. 0. 0.18 0.]]

1/1 [=====] - 0s 14ms/step

[[8.918024]]

Ожидаемое значение - [8.918024]

а



Достоверность - 81.98407986937943%

Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецептуры.

Введите значение показателя - массовая доля жира%

0

Введите значение показателя - массовая доля белка%

0

Введите значение показателя - массовая доля влаги%

50.1

Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%

60.4

Введите значение показателя - органические кислоты%

0

Введите значение показателя - массовая доля сахара%

0

Введите значение показателя - массовая доля соли%

0.12

Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%

0

[0.0, 0.0, 50.1, 60.4, 0.0, 0.0, 0.12, 0.0]

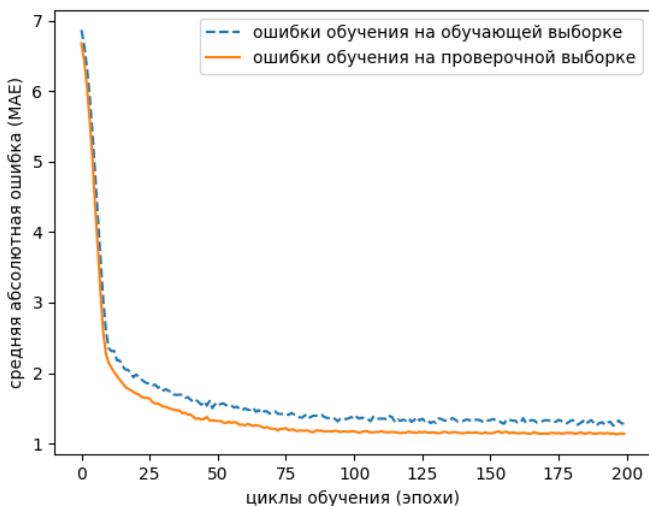
[[0. 0. 50.1 60.4 0. 0. 0.12 0.]]

1/1 [=====] - 0s 15ms/step

[[9.029825]]

Ожидаемое значение - [9.029825]

б



Достоверность - 81.68589973630228%

Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецептуры.

Введите значение показателя - массовая доля жира%

0

Введите значение показателя - массовая доля белка%

0

Введите значение показателя - массовая доля влаги%

49.8

Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%

60.5

Введите значение показателя - органические кислоты%

0

Введите значение показателя - массовая доля сахара%

0

Введите значение показателя - массовая доля соли%

0.14

Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%

0

[0.0, 0.0, 49.8, 60.5, 0.0, 0.0, 0.14, 0.0]

[[0. 0. 49.8 60.5 0. 0. 0.14 0.]]

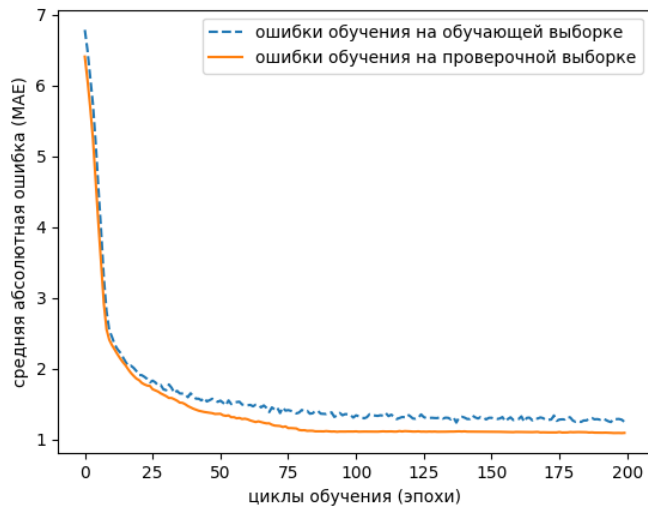
1/1 [=====] - 0s 15ms/step

[[8.946823]]

Ожидаемое значение - [8.946823]

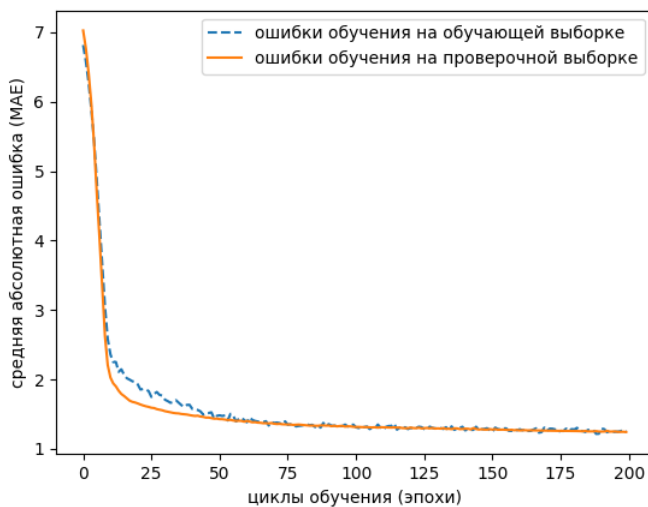
в

Рисунок 27 – Исследование зависимости MAE от количества циклов обучения, ожидаемое значение $QUALITY$ и достоверность прогноза для новых рецептов плавленого пастообразного сыра с наполнителями: а – с какао-порошком; б – с отрубями пшеничными; в – с отрубями овсяными



Достоверность - 80.66345472336685%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецептуры.
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 49.7
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 60.7
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля соли%
 0.12
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 49.7, 60.7, 0.0, 0.0, 0.12, 0.0]
 [[0. 0. 49.7 60.7 0. 0. 0.12 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 15ms/step
 [[8.806373]]
 Ожидаемое значение - [8.806373]

г



Достоверность - 81.65894084854557%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецептуры.
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 49.6
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 60.8
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля соли%
 0.1
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 49.6, 60.8, 0.0, 0.0, 0.1, 0.0]
 [[0. 0. 49.6 60.8 0. 0. 0.1 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 15ms/step
 [[8.73816]]
 Ожидаемое значение - [8.73816]

д

Рисунок 27 – Исследование зависимости *MAE* от количества циклов обучения, ожидаемое значение *QUALITY* и достоверность прогноза для новых рецептур плавленого пастообразного сыра с наполнителями: г – со смесью пшеничных и овсяных отрубей; д – с ростками ячменя сушеными молотыми

Работа нейросети «Пищевые системы» с модельными рецептурами продемонстрировала эффективность проведенного ранее обучения – достоверность прогноза на модельных рецептурах не менее 80 %, что соответствует целевому показателю (см. рисунок 27).

Затем в технологической лаборатории Сибирского НИИ сыроделия проведена практическая выработка опытных образцов плавленых сыров из новой линейки, внешний вид сыров представлен на рисунке 28.



Гидролизированный
коллаген



Лецитин подсолнечника



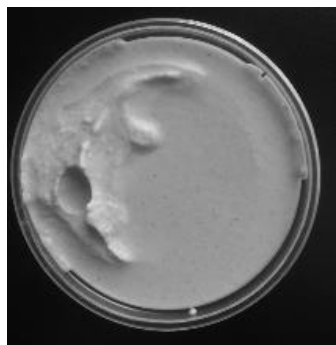
Пшеничные отруби



Овсяные отруби



Пшеничные отруби
и овсяные отруби



Ростки ячменя



Манго сушеное молотое



Клубника сушеная
молотая



Томаты сушеные молотые



Сироп ирги



Какао-порошок



Мед цветочный



Бетулин



Сливочный

Рисунок 28 – Образцы сыров плавеных пастообразных, выработанных по модельным рецептурам

Проведена комиссионная оценка по ГОСТ 33630 качества опытных образцов плавящихся пастообразных сыров с участием экспертов дегустационной комиссии Сибирского НИИ сыроделия ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (таблица 6). Дегустаторы заполняли экспертные листы, на основе которых после математической обработки оформлены протоколы дегустаций (приложение Е).

По набранным баллам сыры в зависимости от наполнителя находятся в следующей последовательности: мед, лецитин, смесь отрубей пшеничных и овсяных, коллаген (от 28 до 30 баллов), отруби овсяные, отруби пшеничные, какао, бетулин, без наполнителей (от 25 до 28), ирга, ростки ячменя, клубника сушеная, томаты сушеные, манго сушеное (от 21 до 25 баллов).

Следует отметить, что задачей этого этапа являлась не разработка новых рецептов плавленого сыра, а валидация прогнозной способности нейросети. Представленные в таблице 6 рецептуры – модельные, и дозировка наполнителей взята в соответствии с общими технологическими предположениями и профессиональным опытом. Поэтому наполнители, получившие низкие баллы по данным органолептической оценки, нельзя на этом основании выбраковывать. Рецептуры возможно доработать с уменьшением либо увеличением дозировки наполнителя, и тогда они покажут более высокие характеристики. Задача данного этапа – сравнить фактическое качество модельных рецептов (по пробным варкам) с прогнозным (по данным нейросети), оценить эффективность работы нейросети и ее практические перспективы.

Анализ новых рецептов с помощью нейросети «Пищевые системы» подтвердил эффективность обучения: достоверность прогноза QUALITY составила от 86,31 % до 97,33 % (рисунок 29).

Таблица 6 – Обобщенные результаты органолептической оценки сыров плавленых пастообразных с массовой долей жира в сухом веществе 60 %

Наполнитель	Вкус и запах		Консистенция		Цвет		Вид на срезе		Внешний вид (упаковка и маркировка)		Общая оценка, балл
	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	
Коллаген гидролизированный	Чистый сырный выраженный	14,2	Нежная пластичная	8,4	Однородный, характерный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	28,6
Лецитин подсолнечника	Чистый молочный	15,0	Хорошая	8,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	29,0
Отруби пшеничные	Хороший, выраженный сырный	13,6	Хорошая	8,0	Однородный с частицами отрубей	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	27,6
Отруби овсяные	Чистый сырный	13,8	Хорошая	8,0	Однородный с частицами отрубей	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	27,8
Пшеничные отруби + овсяные отруби	Хороший, выраженный сырный	14,8	Пластичная	8,0	Однородный с вкраплениями наполнителя	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	28,8
Ростки ячменя сушеные молотые	Специфический, пустоватый, слабо-выраженный	11,0	Воздушная	7,	Однородный со слабо-зеленоватым оттенком	1,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	23,0
Манго сушеное молотое	Пустоватый, слабо-выраженный	11,0	Крупитчатая	5,0	Сероватый	1,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	21,0
Клубника сушеная молотая	Слабо-выраженный	12,0	Плотная, глянцева	5,0	Нехарактерный	1,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	22,0

Продолжение таблицы 6

Наполнитель	Вкус и запах		Консистенция		Цвет		Вид на срезе		Внешний вид (упаковка и маркировка)		Общая оценка, балл
	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	Характеристика	Оценка, балл	
Томаты сушеные молотые	Слабо-выраженный	11,0	Слегка вязкая	5,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	22,0
Ирги сироп	Чистый слабо-выраженный	12,0	Слегка липкая	6,0	Интенсивное окрашивание	1,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	23,0
Какао-порошок	Хороший	14,0	Недостаточно пластичная	7,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	27,0
Мед цветочный	Хороший с выраженным вкусом и ароматом	15,0	Отличная	9,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	30,0
Бетулин	Сырный	12,0	Пластичная	8,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	26,0
Сливочный (без наполнителей)	Чистый сливочный	15,0	Слегка вязкая	5,0	Однородный	2,0	Рисунок отсутствует	2,0	Условно	2,0	26,0
Максимальное значение	–	15,0	–	9,0	–	2,0	–	2,0	–	2,0	30,0

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 87.99048461914063%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 50.5
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 45.5
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2.3
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 50.5, 45.5, 0.0, 0.0, 2.3, 0.0]
 [[0. 0. 50.5 45.5 0. 0. 2.3 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 14ms/step
 [[8.346707]]
 Ожидаемое значение - [8.346707]

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 94.12857768422082%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 52.4
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 45.1
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2.4
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 52.4, 45.1, 0.0, 0.0, 2.4, 0.0]
 [[0. 0. 52.4 45.1 0. 0. 2.4 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 12ms/step
 [[8.321865]]
 Ожидаемое значение - [8.321865]

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 93.54964876553269%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 48.8
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 50.1
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 2
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 48.8, 50.1, 0.0, 0.0, 2.0, 0.0]
 [[0. 0. 48.8 50.1 0. 0. 2. 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 13ms/step
 [[8.100261]]
 Ожидаемое значение - [8.100261]

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 94.58033162222968%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 50.5
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 45.5
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2.3
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 50.5, 45.5, 0.0, 0.0, 2.3, 0.0]
 [[0. 0. 50.5 45.5 0. 0. 2.3 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 13ms/step
 [[8.097129]]
 Ожидаемое значение - [8.097129]

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 86.31165364129203%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 52.5
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 45.0
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2.9
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 52.5, 45.0, 0.0, 0.0, 2.9, 0.0]
 [[0. 0. 52.5 45. 0. 0. 2.9 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 12ms/step
 [[7.584252]]
 Ожидаемое значение - [7.584252]

Результат обучения нейросети:
 Достоверность - 93.54564994100541%
 Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры для рецепта
 Введите значение показателя - массовая доля жира%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля белка%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля влаги%
 55
 Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе%
 30
 Введите значение показателя - органические кислоты%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля сахара%
 0
 Введите значение показателя - массовая доля солей%
 2.5
 Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества%
 0
 [0.0, 0.0, 55.0, 30.0, 0.0, 0.0, 2.5, 0.0]
 [[0. 0. 55. 30. 0. 0. 2.5 0.]]
 1/1 [=====] - 0s 12ms/step
 [[7.0238833]]
 Ожидаемое значение - [7.0238833]

Рисунок 29 – Результаты работы нейросети по прогнозированию показателя QUALITY модельных рецептов плавленого сыра (окончание)

Дегустаторами проведено сравнение фактической оценки качества опытных образцов сыров с прогнозом по данным нейросети «Пищевые системы» (таблица 7). Средняя теоретическая ошибка прогноза QUALITY, полученная по данным нейросети «Пищевые системы», равна 7,18 %. Средняя фактическая ошибка прогноза, полученная при сравнении прогноза показателя QUALITY и его значения при пробных варках сыров, составляет 5,30 %, что значительно ниже среднего значения теоретической ошибки прогноза и подтверждает высокую робастность нейросети в условиях неопределенности.

Таблица 7 – Сравнительный анализ прогнозного значения QUALITY модельных рецептов плавленых сыров с фактическими показателями

Наполнитель	Значение QUALITY			Ошибка прогноза, %	
	эмпирическое по данным пробной варки (шкала 30 баллов)	ожидаемое прогнозное по данным нейросети (шкала 10 баллов)	нормализованное (приведенное к 30-балльной шкале)	по данным нейросети	фактическая
Мед цветочный	30,0	9,07	27,21	8,69	-9,30
Лецитин подсолнечника	29,0	9,06	27,18	5,19	-6,28
Пшеничные отруби + овсяные отруби	28,8	8,90	26,70	2,67	-7,29
Коллаген гидролизированный	28,6	8,85	26,55	5,72	-7,17
Отруби овсяные	27,8	8,82	26,46	9,04	-4,82
Отруби пшеничные	27,6	8,78	26,34	4,96	-4,57
Какао-порошок	27,0	8,75	26,25	7,87	-2,78
Бетулин	26,0	8,69	26,07	6,48	+0,27
Сливочный (без наполнителей)	26,0	8,35	25,05	12,01	-3,65
Ирги сироп	23,0	8,32	24,96	5,87	+8,52
Ростки ячменя сушеные молотые	23,0	8,10	24,30	6,45	+5,65
Клубника сушеная молотая	22,0	8,09	24,27	5,42	+10,32
Томаты сушеные молотые	22,0	7,58	22,74	13,69	+3,36
Манго сушеное молотое	21,0	7,02	21,06	6,46	+0,29

Установлена высокая сходимость прогнозных и эмпирических данных органолептической оценки новых рецептур плавленых пастообразных сыров (рисунок 30), соответствующая целевому показателю достоверности прогнозирования, поставленному при обучении нейросети «Пищевые системы» (не менее 80 %). При оценке разницы прогноза и фактического значения качества рецептуры по модулю нельзя сказать, что нейросеть стабильно завышает или стабильно занижает баллы, значения в рамках эксперимента распределены равномерно.

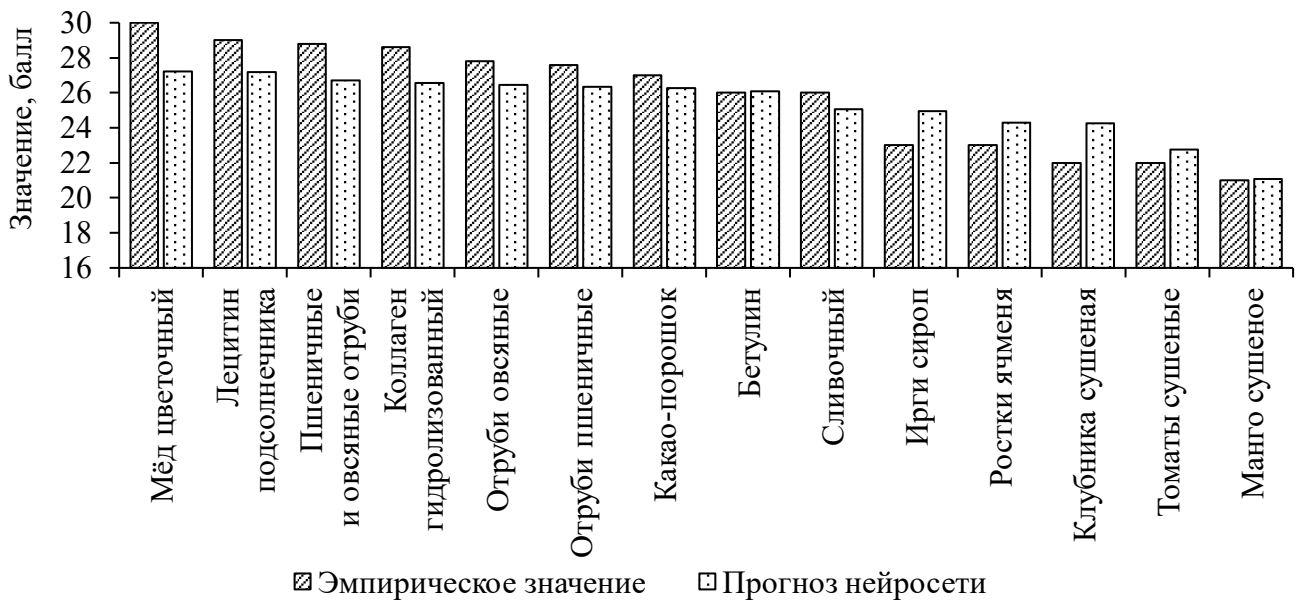


Рисунок 30 – Сходимость прогнозных и эмпирических данных

Таким образом, установлено, что обученная нейросеть «Пищевые системы» работает эффективно, с высоким уровнем достоверности прогнозирования показателя QUALITY (86,31–97,33 %) и может быть рекомендована для практического применения. Предлагаемый нами цифровой инструментарий позволит ускорить разработку новых рецептур плавленых сыров, прогнозировать их качество перед опытной выработкой и до запуска в производство. При практическом применении нейросети в работе технолога сыродельного предприятия достоверность прогноза будет увеличиваться по мере добавления в БД новых рецептур (расширение выборки) и разделения их по группам сыров – пастообразные, ломтевые, колбасные и т.д. (повышение однородности выборки).

Заключение по главе 3

В разработанную нами ИС входит база данных «Рецептуры плавленых сыров», включающая 869 рецептов, и «Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров».

Модель нейросети «Пищевые системы» разработана и обучена на наборе данных (рецептурах) информационной системы. Модель нейросети «Пищевые системы» состоит из входного слоя на восемь нейронов, двух скрытых слоев по 64 нейрона и выходного слоя из одного нейрона. Выходной слой (целевая переменная) – введенный нами условный показатель QUALITY, представляет собой инструмент предиктивной аналитики (прогнозирование оценки органолептических свойств сыра).

Определено необходимое количество циклов обучения нейросети исходя из минимального значения средней абсолютной ошибки *MAE* и дана оценка стабильности модели обучения. Для нейросети «Пищевые системы» установлено, что после 40-го цикла обучения и на протяжении 5 000 эпох значение *MAE* выходит на плато, что доказывает стабильность модели обученной нейросети. Среднюю абсолютную ошибку проверочной выборки на уровне не более 20 % позволят обеспечить следующие параметры: количество циклов обучения (эпох) – не менее 40, количество пакетов (батчей) – 10, количество итераций – 10 % от исходного набора данных. Объем выборки, необходимой для корректной работы нейросети с требуемой достоверностью, составляет не менее 200 рецептов.

Повысить достоверность прогноза на 13,24 % (с 67,1 до 80,34 %) и обеспечить целевое значение 80 % позволило разделение рецептов по группам сыров (повышение однородности выборки); дополнительно снизить ошибку прогноза можно расширением исходной выборки (добавлением в БД новых рецептов).

Обученная нейросеть «Пищевые системы» подтвердила свою прогнозную способность при валидации на модельной линейке 14 рецептов плавленых пастообразных сыров с целенаправленной диверсификацией наполнителей. Подтвер-

ждена эффективность обучения нейронной сети «Пищевые системы»: достоверность прогноза показателя QUALITY на модельных рецептурах колеблется от 86,31 % до 97,33 %. По 14 модельным рецептурам проведена практическая выработка опытных образцов плавленных сыров и их органолептическая оценка. Теоретическая ошибка прогноза показателя QUALITY модельных рецептур плавленных сыров, полученная по данным нейросети «Пищевые системы», колеблется от 2,67 % до 13,69 %. Фактическая ошибка прогноза, полученная при сравнении прогнозируемого показателя QUALITY и его значения при пробных варках сыров, колеблется от 0,27 % до 10,32 %, среднее значение 5,30 %, что значительно ниже среднего значения теоретической ошибки прогноза 7,18 %.

Разработанные цифровые инструменты зарегистрированы в Роспатенте (№ 2023684297, № 2023620806, № 2023618007), проведена их апробация и внедрение. БД внедрена в работу лаборатории «АлтайБиоЛакт», разработанный цифровой инструментарий используется в учебном процессе обучающихся АлтГТУ по направлениям 19.03.03, 19.04.03, 19.04.04, 19.06.01, программы внедрены в Испытательном центре пищевых продуктов инжинирингового центра «ХимБиоМаш» АлтГТУ.

Разработанный инструментарий позволяет эффективно применять современные цифровые технологии для сбора, обработки, анализа открытой для редактирования БД «Рецептуры плавленных сыров», определять с помощью предиктивной аналитики, реализованной в нейросети «Пищевые системы», прогнозную оценку органолептических свойств плавленного сыра (показатель QUALITY), отсеивать заведомо неудачные рецептуры до проведения натуральных экспериментов и сократить количество необходимых пробных варок в 5–10 раз. Разработанный инструментарий за счет снижения количества необходимых натуральных экспериментов ускоряет процесс проектирования рецептур пищевых систем, что способствует экономии временных, ресурсных (сырье, электроэнергия, труд) и финансовых затрат, позволяет сократить период разработки и вывода плавленных сыров на рынок, а также ускорить оптимизацию ассортимента предприятия.

4 Разработка рецептур и технологии плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизованным коллагеном, лецитином подсолнечника и пшеничными отрубями

Для апробации разработанных цифровых инструментов среди смоделированных рецептур линейки плавленых сыров выбраны перспективные наполнители на основе результатов предиктивной аналитики нейросети «Пищевые системы». В зону высоких баллов органолептической оценки устойчиво попадают варианты с ГК, лецитином подсолнечника и отрубями пшеничными. Выбор ГК также обусловлен его аминокислотным составом: содержит глицин, гидроксипролин и пролин, гистидин, аланин, глютаминовую и аспарагиновую кислоты, серин, валин.

4.1 Оценка показателей качества сырья животного и растительного происхождения

В экспериментах для получения творога, входящего в состав плавленых сыров, использовали сборное молоко-сырье, поступающее на ООО «Экспериментальный сыродельный завод»; результаты биохимических исследований молока, полученные с помощью инфракрасного анализатора качества молока MilkoScan FT120 (FOSS, Дания), приведены далее. Проанализировано шесть образцов молока коровьего сборного, приведены аппаратно усредненные ИК-анализатором значения из двух повторностей (таблица 8).

Из сборного молока-сырья в лабораторных условиях кислотным способом изготавливали творог для дальнейшего использования в составе плавленого сыра. Нормализацию молока осуществляли в условиях ООО «Экспериментальный сыродельный завод». Для заквашивания использована закваска, состоящая из куль-

тур лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков. Творог получали с массовой долей жира ($5,2 \pm 0,2$) %, массовой долей белка ($16,5 \pm 0,5$) %, массовой долей влаги ($73,0 \pm 1,4$) %, кислотностью (200 ± 18) °Т.

Таблица 8 – Физико-химические показатели молока-сырья сборного

Показатель	Образец молока					
	1	2	3	4	5	6
Массовая доля жира, %	3,85	3,85	3,84	3,85	3,83	3,84
Титруемая кислотность, °Т	17,10	16,87	16,91	16,83	17,05	16,84
Плотность, кг/м ³	1 029,1	1 029,1	1 029,4	1 029,3	1 029,4	1 029,5
Массовая доля белка, %	3,31	3,30	3,30	3,29	3,31	3,31
Массовая доля казеина, %	2,62	2,62	2,61	2,61	2,63	2,61
Массовая доля казеина, % от общего белка	79,15	79,39	79,09	79,33	79,46	78,85
Массовая доля сывороточных белков, %	0,69	0,68	0,69	0,68	0,68	0,70
Массовая доля сывороточных белков, % от общего белка	20,85	20,61	20,91	20,67	20,54	21,15
Массовая доля сухих веществ, %	12,69	12,73	12,71	12,72	12,72	12,69
СОМО, %	8,89	8,90	8,88	8,88	8,90	8,90
Массовая доля лактозы, %	4,75	4,77	4,76	4,76	4,76	4,76
Точка замерзания, °С	-0,521	-0,520	-0,521	-0,522	-0,523	-0,524
Лимонная кислота, %	0,18	0,19	0,18	0,18	0,19	0,18
Свободные жирные кислоты, мг%	0,629	0,637	0,604	0,588	0,567	0,599

Плавление сыра предусматривает термическую обработку, которая может убить вегетативные формы бактерий, но споры или термостойкие микроорганизмы могут выжить. Поэтому важно исследовать микробиологические показатели качества образцов наполнителей для плавленого сыра.

В производственных условиях необходим регулярный лабораторный контроль поступающего сырья на соответствие нормам ТР ТС 021/2011, сухие наполнители должны иметь влажность не более 15 % для подавления роста микроорганизмов. Кроме того, необходимо обратить внимание на упаковку и хранение сырья до использования, чтобы предотвратить вторичное загрязнение.

Установлено (таблица 9), что большинство изученных видов сырья требуют предварительной обработки (пастеризация, сушка, обеззараживание) для минимизации микробиологических рисков. Исключение – коллаген, лецитин, мед и бетулин, которые относительно безопасны с микробиологической точки зрения в силу особенностей состава и технологии получения.

Таблица 9 – Микробиологические показатели наполнителей для плавленого пастообразного сыра

Показатель	КМАФАнМ, КОЕ/г	Масса образца, г, в которой обнаружены БГКП	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
Коллаген гидролизированный	$8,8 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10
Лецитин подсолнечника	$7,2 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10
Пшеничные отруби	$4,7 \cdot 10^4$	0,01	100	100
Ростки ячменя сушеные молотые	$2,1 \cdot 10^5$	0,01	100	100
Овсяные отруби	$4,2 \cdot 10^4$	0,1	100	90
Пшеничная клетчатка	$9,5 \cdot 10^3$	0,01	80	50
Клубника сушеная молотая	$2,1 \cdot 10^4$	Не обнаружены	10^3	200
Томаты сушеные молотые	$5,5 \cdot 10^3$	Не обнаружены	100	200
Ирги сироп	$9,7 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10
Какао-порошок	$6,4 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10
Манго сушеное молотое	$8,2 \cdot 10^4$	0,01	10^3	250
Мед цветочный	$3,1 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10
Бетулин	$9,8 \cdot 10^2$	Не обнаружены	Менее 10	Менее 10

Возможны различные технологические приемы по подготовке наполнителей к внесению в состав плавленого сыра (микробиологическому кондиционированию). Это термическая обработка: пастеризация в составе водной фазы перед плавлением при 85–90 °С в течение 10–15 мин или при температуре 90–100 °С в течение 2–3 мин, обработка сухим жаром при температуре 200–250 °С, инфракрасная или микроволновая обработка (800 Вт, 2–5 мин) сухих наполнителей (отруби, клетчатка, сушеные фрукты или овощи), пастеризация при 95 °С сиропа ирги с выдержкой 2–3 мин, обработка паром при 90–95 °С в течение 20–30 мин сушеных фруктов и овощей, УФ-облучение термочувствительных ингредиентов

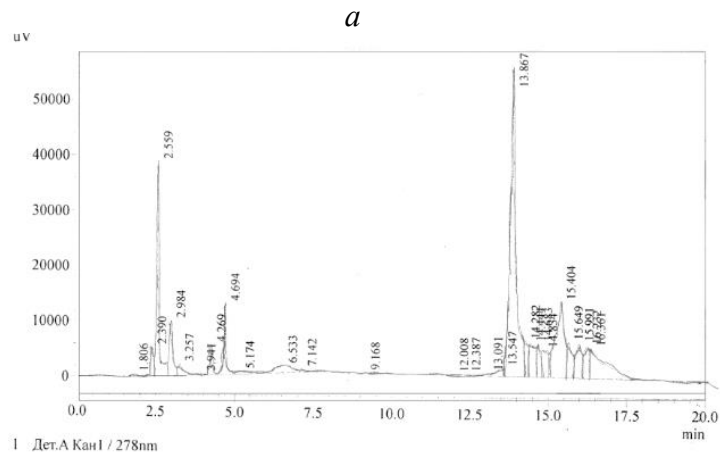
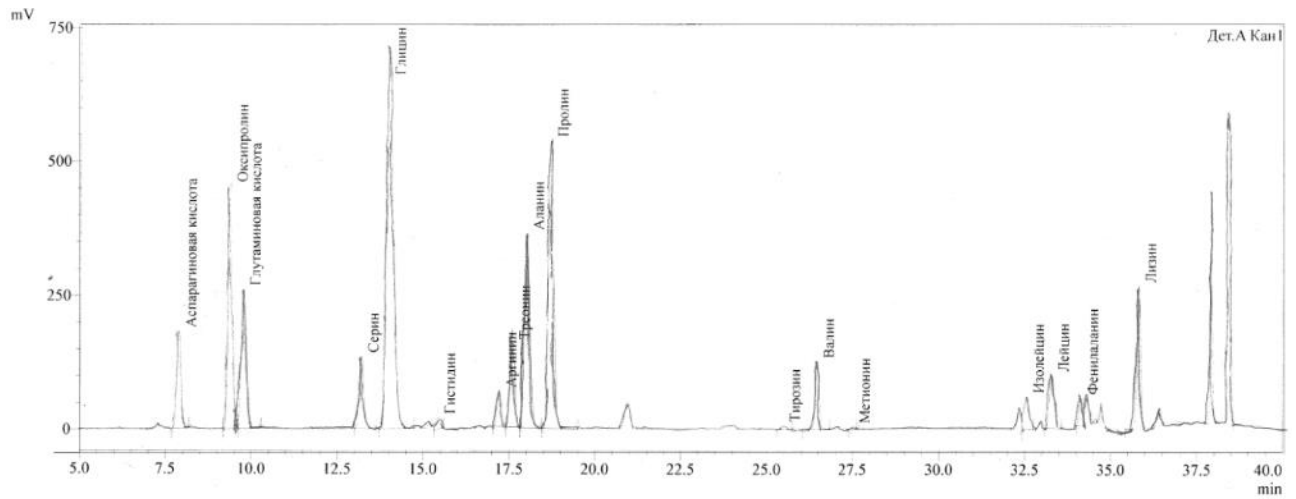
(ростки ячменя). Компоненты с высоким микробиологическим риском (сушеные овощи и фрукты, отруби) необходимо добавлять в смесь строго до стадии плавления, чтобы термическая обработка снизила микробную нагрузку. Еще одним традиционным приемом является использование консервантов (сорбат калия, бензоат натрия, натамицин) в рецептуре плавленых сыров.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии проведены исследования образцов ГК (рисунок 31, таблица 10).

Таблица 10 – Аминокислотный состав гидролизованного говяжьего коллагена

Аминокислота	Содержание, мг/100 г
Аспарагиновая кислота	2200 ± 220
Гидроксипролин	8400 ± 840
Глютаминовая кислота	5300 ± 530
Серин	2500 ± 250
Глицин	15700 ± 1570
Гистидин	360 ± 36
Аргинин	1400 ± 140
Треонин	5800 ± 580
Аланин	5300 ± 530
Пролин	9500 ± 950
Тирозин	200 ± 20
Валин	1500 ± 150
Изолейцин	900 ± 90
Лейцин	2400 ± 240
Фенилаланин	900 ± 90
Лизин	1300 ± 130
Метионин	100 ± 10
Цистин + цистеин	0
Триптофан	0

Установлено, что коллаген богат такими аминокислотами, как глицин, гидроксипролин и пролин, гистидин, аланин, глютаминовая кислота, аспарагиновая кислота, серин, валин; не содержит цистина, цистеина и триптофана.



б

Рисунок 31 – Хроматограмма образца гидролизованного коллагена:
 а – анализ аминокислотного состава образца; б – анализ триптофана в образце

Высоким является содержание заменимых аминокислот: глицин ((15 700 ± 1 570) мг/100 г) и пролин (9500 ± 950 мг/100 г) составляют 25,2 % и 15,2 % от общего пула аминокислот соответственно. Отмечен дефицит ряда незаменимых аминокислот: метионин ((100 ± 10) мг/100 г) присутствует в следовых количествах; триптофан, цистин и цистеин отсутствуют. Уникальной для коллагена является аминокислота гидроксипролин, содержащаяся в сырье в большом количестве ((8 400 ± 840) мг/100 г). Гидроксипролин – маркерный компонент коллагена, отсутствующий в большинстве пищевых белков. При условии экспериментального доказательства сохранения этой аминокислоты в плавленом сыре гидроксипролин может рассматриваться как регламентируемый показатель качества для сыров с коллагеном.

4.2 Постановка полного факторного эксперимента, выявление приоритетных факторов и обоснование оптимального диапазона внесения коллагена, лецитина, отрубей в состав плавленого сыра

Как описано в главе 1, рассматриваемые наполнители для плавленого сыра (коллаген, лецитин, отруби) отличаются высоким содержанием биологически активных веществ, обладают доказанной физиологической эффективностью: лецитин и отруби являются функциональными пищевыми ингредиентами, коллаген обладает потенциальными положительными эффектами для здоровья. Однако добавление таких ингредиентов может существенно повлиять на органолептическую оценку плавленого пастообразного сыра.

Пшеничные отруби приносят в сыр твердые частицы, которые могут нарушать непрерывность белковой матрицы и привести к образованию зернистой текстуры. Пищевые волокна отрубей могут связывать водную фазу сыра, что может как улучшить (предотвратить синерезис), так и ухудшить текстуру (если волокна свяжут слишком много воды). Гидролизированный коллаген обладает хорошей растворимостью и термостабильностью, что позволяет прогнозировать его высокую технологическую совместимость с остальными ингредиентами плавленого сыра.

Если все три компонента – лецитин, отруби и коллаген – добавляются вместе, их влияние может быть комплексным: лецитин будет стабилизировать жировую фазу и улучшать эмульгирование, отруби добавят твердые частицы и клетчатку, что может сделать структуру более неоднородной, коллаген укрепит белковую матрицу и улучшит удержание воды. Результат будет зависеть от пропорций добавок.

Необходимо рассмотреть, как каждый из этих компонентов по отдельности и в различных сочетаниях влияет на органолептические свойства сыра, и путем математического моделирования подобрать оптимальные диапазоны дозировок.

Базовая рецептура плавленого пастообразного сыра с массовой долей жира в сухом веществе 60 % (контроль) приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Базовая рецептура плавленого пастообразного сыра (на 1 т)

Наименование сырья	Масса, кг
Сыр сычужный полутвердый с массовой долей сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %	360,1
Творог с массовой долей сухого вещества 25 %, жира 5 %	102,0
Масло крестьянское сладко-сливочное с массовой долей сухого вещества 75 %, жира 72,5 %	284,1
Сливки с массовой долей сухого вещества 41 %, жира 35 %	61,2
Сухое обезжиренное молоко с массовой долей сухого вещества 96 %	21,8
Соль пищевая	1,0
Соль-плавитель	20,4
Лимонная кислота	1,0
Вода питьевая	168,4
Наполнитель (коллаген, лецитин, отруби)	0,0
<i>Всего</i>	<i>1 020,0</i>
Выход	1 000,0

В таблице 12 приведен план эксперимента с тремя факторами (x_1 – дозировка гидролизованного коллагена, x_2 – дозировка лецитина подсолнечника, x_3 – дозировка пшеничных отрубей) и их кодированными уровнями X_i , отклик (Y) – для каждой комбинации факторов даны три независимые оценки органолептического качества сыра по 30-балльной шкале.

Уровни факторов (отруби, лецитин) определены на основании анализа литературных данных, коллагена – с учетом предварительных пробных варок сыра.

Для оценки квадратичных эффектов в план добавлены осевые точки, где один фактор находится в крайних позициях, а остальные – в центре, и дополнительные точки вблизи центра плана, что позволит модели лучше охватить нелинейные зависимости.

Таблица 12 – План полного факторного эксперимента с центральной, осевыми и дополнительными точками

№	x_1	x_2	x_3	Кодировка факторов	Отклик (Y)			Средний отклик (\bar{Y})
					Y_1	Y_2	Y_3	
1	0 % (-1)	0 % (-1)	0 % (-1)	(-; -; -)	24	23	25	24,0
2	5 % (+1)	0 % (-1)	0 % (-1)	(+; -; -)	22	23	24	23,0
3	0 % (-1)	5 % (+1)	0 % (-1)	(-; +; -)	22	21	20	21,0
4	5 % (+1)	5 % (+1)	0 % (-1)	(+; +; -)	19	20	18	19,0
5	0 % (-1)	0 % (-1)	5 % (+1)	(-; -; +)	9	8	7	8,0
6	5 % (+1)	0 % (-1)	5 % (+1)	(+; -; +)	17	18	16	17,0
7	0 % (-1)	5 % (+1)	5 % (+1)	(-; +; +)	20	21	19	20,0
8	5 % (+1)	5 % (+1)	5 % (+1)	(+; +; +)	5	6	7	6,0
9	2,5 % (0)	2,5 % (0)	2,5 % (0)	(0; 0; 0)	28	27	29	28,0
10	5 % (+1)	2,5 % (0)	2,5 % (0)	(+; 0; 0)	20	22	21	21,0
11	0 % (-1)	2,5 % (0)	2,5 % (0)	(-; 0; 0)	16	15	14	15,0
12	2,5 % (0)	5 % (+1)	2,5 % (0)	(0; +; 0)	22	23	24	23,0
13	2,5 % (0)	0 % (-1)	2,5 % (0)	(0; -; 0)	19	18	17	18,0
14	2,5 % (0)	2,5 % (0)	5 % (+1)	(0; 0; +)	15	14	13	14,0
15	2,5 % (0)	2,5 % (0)	0 % (-1)	(0; 0; -)	20	19	18	19,0
16	3 % (+0,2)	3% (+0,2)	3 % (+0,2)	(+0,2; +0,2; +0,2)	27	29	28	28,0
17	4 % (+0,6)	4 % (+0,6)	4 % (+0,6)	(+0,6; +0,6; +0,6)	24	26	25	25,0
18	3,5 % (+0,4)	3 % (+0,2)	1,5 % (-0,4)	(+0,4; +0,2; -0,4)	29	30	28	29,0

Внешний вид образцов с максимальной величиной одного из изучаемых факторов (два других фактора при этом зафиксированы с дозировкой, равной нулю) и контрольного образца сыра приведены на рисунке 32.

Поскольку план эксперимента включает центральные точки и дополнительные уровни, выбор типа регрессионной модели несложен: подойдет полиномиальная регрессия второй степени, которая учитывает не только линейные эффекты, но и взаимодействия между факторами, а также квадратичные эффекты.

*a**б**в**г*

Рисунок 32 – Экспериментальные образцы плавленого пастообразного сыра:
a – контроль (без наполнителей); *б* – с гидролизованным коллагеном (5 %);
в – с лецитином подсолнечника (5 %); *г* – с пшеничными отрубями (5 %)

Введем переменные для кодированных уровней факторов: X_1 – коллаген, X_2 – лецитин, X_3 – отруби. Для трех факторов матрица плана (таблица 13) включает константу, линейные члены X_1 , X_2 , X_3 , квадратичные члены X_1^2 , X_2^2 , X_3^2 и межфакторные взаимодействия: X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3 .

Таблица 13 – Матрица плана с учетом квадратичной модели и межфакторного взаимодействия

№	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	+1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	-1	+1	-1	-1	1	-1	1	1	1
4	+1	+1	-1	1	-1	-1	1	1	1

Продолжение таблицы 13

№	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2
5	-1	-1	+1	1	-1	-1	1	1	1
6	+1	-1	+1	-1	1	-1	1	1	1
7	-1	+1	+1	-1	-1	1	1	1	1
8	+1	+1	+1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	+1	0	0	0	0	0	1	0	0
11	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
12	0	+1	0	0	0	0	0	1	0
13	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
14	0	0	+1	0	0	0	0	0	1
15	0	0	-1	0	0	0	0	0	1
16	+0,2	+0,2	+0,2	+0,04	+0,04	+0,04	0,04	0,04	0,04
17	+0,6	+0,6	+0,6	+0,36	+0,36	+0,36	0,36	0,36	0,36
18	+0,4	+0,2	-0,4	+0,08	-0,16	-0,08	0,16	0,04	0,16

Модель второго порядка имеет следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \varepsilon. \quad (6)$$

Расчет коэффициентов модели проведем методом наименьших квадратов.

Модель в кодированных переменных:

$$Y = 25,8 - 1,5X_1 - 2,1X_2 - 7,2X_3 + 0,4X_1X_2 + 0,6X_1X_3 - 0,2X_2X_3 - 4,0X_1^2 - 3,2X_2^2 - 5,0X_3^2. \quad (7)$$

После исключения незначимых по t -тестам коэффициентов модель в кодированных переменных имеет вид:

$$Y = 25,8 - 1,5X_1 - 2,1X_2 - 7,2X_3 - 4,0X_1^2 - 3,2X_2^2 - 5,0X_3^2. \quad (8)$$

Проверим модель на адекватность после исключения незначимых коэффициентов. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$, скорректированный $R^2 = 0,94$, тест Шапиро – Уилка показал нормальное распределение остатков ($p = 0,25$), тест Левена показал их гомоскедастичность – однородность дисперсии случайной ошибки регрессионной модели ($p = 0,40$). Модель адекватна и надежна для анализа данных.

Оценим точность прогнозирования модели – сравним предсказанные значения отклика с экспериментальными (таблица 14).

Таблица 14 – Сходимость прогнозных и экспериментальных значений отклика

Номер эксперимента согласно плану	Средний экспериментальный отклик $\bar{Y}_{\text{эксп}}$	Прогнозное значение отклика $\bar{Y}_{\text{модель}}$	Отклонение (ΔY)	Абсолютное отклонение $ \Delta Y $
1	24,0	23,9	-0,1	0,1
2	23,0	22,8	-0,2	0,2
3	21,0	21,1	+0,1	0,1
4	19,0	19,3	+0,3	0,3
5	8,0	8,2	+0,2	0,2
6	17,0	16,7	-0,3	0,3
7	20,0	19,8	-0,2	0,2
8	6,0	6,4	+0,4	0,4
9	28,0	28,0	0	0,0
10	21,0	21,2	+0,2	0,2
11	15,0	14,9	-0,1	0,1
12	23,0	23,3	+0,3	0,3
13	18,0	18,1	+0,1	0,1
14	14,0	14,2	+0,2	0,2
15	19,0	18,8	-0,2	0,2
16	28,0	27,7	-0,3	0,3
17	25,0	25,4	+0,4	0,4
18	29,0	29,2	+0,2	0,2

Установлено, что среднее абсолютное отклонение составляет 0,21 балла, что соответствует погрешности менее 1,6 % от максимального значения шкалы (30 баллов). Наибольшее отклонение наблюдается в строках 8 и 17 (плюс 0,4 балла), что связано с нелинейными эффектами при высоких уровнях факторов. Выбросы отсутствуют – все отклонения $|\Delta Y| < 0,5$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,94$ означает, что 94 % изменчивости отклика объясняется моделью регрессии, выбранные факторы и их квадратичные эффекты хорошо объясняют изменения органолептической оценки сыра. Это позволяет уверенно использовать модель для прогнозирования и оптимизации рецептуры сыра в рамках изученных диапазонов.

Преобразуем модель в натуральные значения факторов:

$$Y = 24,4 + 2,60x_1 + 1,72x_2 + 1,12x_3 - 0,64x_1^2 - 0,51x_2^2 - 0,80x_3^2, \quad (9)$$

где x_1 – дозировка гидролизованного коллагена, %; x_2 – дозировка лецитина подсолнечника, %; x_3 – дозировка пшеничных отрубей, %; Y – органолептическая оценка плавленого сыра по 30-балльной шкале.

Ограничения модели: уравнение работает лучше всего в центральной области экспериментального плана, где отклонения минимальны. В этой области модель наиболее точна, так как здесь собрано больше данных, и квадратичные члены эффективно описывают нелинейности. На краях диапазона (близко к 0 % или 5 %) точность модели может снижаться из-за нелинейности эффектов.

Рассмотрим линейные члены уравнения (9): коэффициенты при x_1 , x_2 , x_3 положительные – это означает, что при увеличении любого из факторов в небольших дозировках отклик растет. Квадратичные члены отражают нелинейность влияния факторов и в нашем случае имеют отрицательные коэффициенты, что указывает на вогнутость функции и наличие оптимальных значений – после определенного уровня эффект перестает быть линейным и начинает снижаться.

Кривые влияния коллагена и лецитина – параболы, открывающиеся вниз (максимум в оптимальных точках). Кривая отрубей – более «острая» парабола

из-за большего по модулю квадратичного коэффициента $(-0,80)$, это означает, что эффект отрубей чувствителен к дозировке: даже небольшое превышение оптимального уровня резко снижает Y .

Для коллагена (x_1): линейный коэффициент $(2,60)$ положительный, но квадратичный $(-0,64)$ отрицательный. Значит, есть оптимальная дозировка, после которой увеличение дозировки коллагена станет ухудшать органолептику сыра. Если дозировка будет выше оптимальной, то эффект от внесения коллагена в рецептуру – отрицательный. Аналогично для лецитина (x_2): линейный $1,72$ и квадратичный $(-0,51)$. Выше оптимального уровня отклик уменьшается. Для отрубей (x_3): линейный коэффициент положительный $(1,12)$, квадратичный отрицательный $(-0,80)$, значит, отруби в небольших количествах улучшают качество плавленого сыра, но этот эффект быстро исчезает при увеличении дозы. Стоит также отметить, что квадратичный эффект сильнее для отрубей – это означает, что его влияние на отклик меняется резче. Коллаген и лецитин имеют меньшие по модулю квадратичные коэффициенты, значит, их оптимальные диапазоны шире. Константа $(24,4)$ – это уровень отклика, когда все факторы равны нулю.

Установлено, что для каждого фактора в модели существует такое оптимальное значение, при котором Y максимален, оптимальные уровни факторов найдены аналитическим путем (приложение Ж). Рекомендованные диапазоны внесения коллагена, лецитина или отрубей в состав плавленого сыра составляют:

$$X_1 \in [3,0 \%; 3,5 \%] \text{ (коллаген);}$$

$$X_2 \in [2,5 \%; 3,0 \%] \text{ (лецитин);}$$

$$X_3 \in [1,0 \%; 1,5 \%] \text{ (отруби).}$$

Оптимальные уровни факторов даны в виде диапазонов, поскольку модель показывает, что небольшие отклонения от пика незначительно влияют на отклик.

При дозировке $3,0\text{--}3,5\%$ коллагена, $2,5\text{--}3,0\%$ лецитина и $1,0\text{--}1,5\%$ отрубей наблюдается синергетический эффект: органолептические свойства сыра с наполнителями максимальны. Сыр становится чуть более плотным, сохраняя при этом пластичность, текстура сыра однородная и гладкая.

Превышение оптимальных дозировок коллагена, отрубей и лецитина приводит к конкуренции за свободную воду, дестабилизации белковой матрицы плавленого сыра и существенному ухудшению его органолептических характеристик (во вкусе сыра появляется горечь и специфический привкус лецитина, отруби вызывают грубость и несвязность текстуры сыра и дают характерный привкус, а коллаген придает консистенции сыра резинистость). Дозировки наполнителей ниже оптимальных значений не дадут ожидаемого положительного эффекта от их внесения (коллаген привносит в сыр биоактивные пептиды, лецитин – источник фосфолипидов, отруби – источник пищевых волокон).

Поскольку в оптимальных уровнях есть пересекающиеся множества, в условиях производства для простоты расчетов технолог может ориентироваться на упрощенные рекомендации: коллаген и лецитин по 3 %, отруби 1 % или 1,5 %.

Если необходимо вносить изолированно коллаген, или лецитин, или отруби в состав плавленого сыра, то оптимальные уровни факторов следующие:

$$x_1 \in [0,5 \% ; 3,5 \%], (x_2 = x_3 = 0);$$

$$x_2 \in [0,5 \% ; 3,0 \%], (x_1 = x_3 = 0);$$

$$x_3 \in [0,0 \% ; 1,5 \%], (x_1 = x_2 = 0).$$

Согласно математической модели (уравнение (9)), наиболее существенное влияние на отклик оказывает гидролизованный коллаген. Лецитин является достаточно изученным компонентом пищевых систем, в том числе плавленых сыров. Обзор литературы показал, что отруби зерновых культур, в том числе пшеничные отруби, уже около 30 лет изучаются в качестве компонента плавленых сыров. Таким образом, коллаген оказывает максимальное влияние на органолептические свойства плавленого сыра, но при этом отсутствует информация о его использовании в составе сыров. Научный интерес представляет оценка действия этого фактора селективно – необходимо изолированно изучить этот компонент в составе плавленого сыра и получить данные о влиянии на аминокислотный состав, микроструктуру и реологические свойства.

Рецептуры контрольного и опытного образцов плавленого сыра приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Рецептуры сыра плавленого пастообразного (на 1 т)

Наименование сырья	Масса, кг	
	Опыт	Контроль
Сыр сычужный полутвердый с массовой долей сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %	329,1	360,1
Творог с массовой долей сухого вещества 25 %, жира 5 %	102,0	102,0
Масло крестьянское сладко-сливочное с массовой долей сухого вещества 75 %, жира 72,5 %	284,1	284,1
Сливки с массовой долей сухого вещества 41 %, жира 35 %	61,2	61,2
Сухое обезжиренное молоко с массовой долей сухого вещества 96 %	21,8	21,8
Соль пищевая	1,0	1,0
Соль-плавитель	20,4	20,4
Лимонная кислота	1,0	1,0
<i>Гидролизированный коллаген</i>	<i>31,0</i>	<i>0,0</i>
Вода питьевая	168,4	168,4
Всего	1 020,0	1 020,0
Выход	1 000,0	1 000,0

4.3 Исследование влияния гидролизованного коллагена на аминокислотный состав плавленого пастообразного сыра

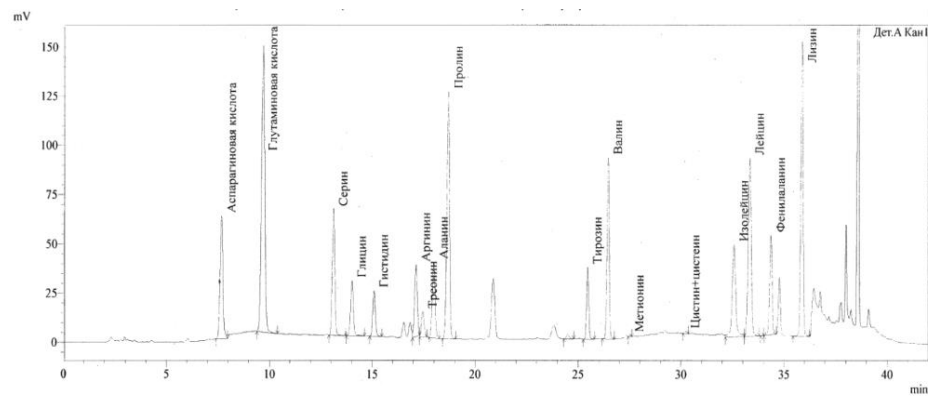
Гидролизированный коллаген признан источником биологически активных пептидов и аминокислот. Известно [258], что ГК содержит низкомолекулярные пептиды (2–20 аминокислотных остатков), проявляющие специфическую биоактивность *in vitro* и *in vivo*: биоактивные пептиды (Pro-Hyp, Hyp-Gly) стимулируют синтез белков внеклеточного матрикса в тканях, в том числе эндогенного коллагена, за счет подачи специфических аминокислотных последовательностей и субстрата (пролина), стимуляции клеток и активации фибробластов через сигнальные пептиды (Pro-Hyp), участвуют в регенерации соединительной ткани (кожа, кости, сухожилия и хрящи), снижают уровень провоспалительных цитокинов в сыворотке крови, Gly-Pro-Ala ингибируют ангиотензинпревращающий фермент, что при-

водит к антигипертензивному эффекту. Биоактивные пептиды ГК способны оказать благотворное воздействие на организм человека.

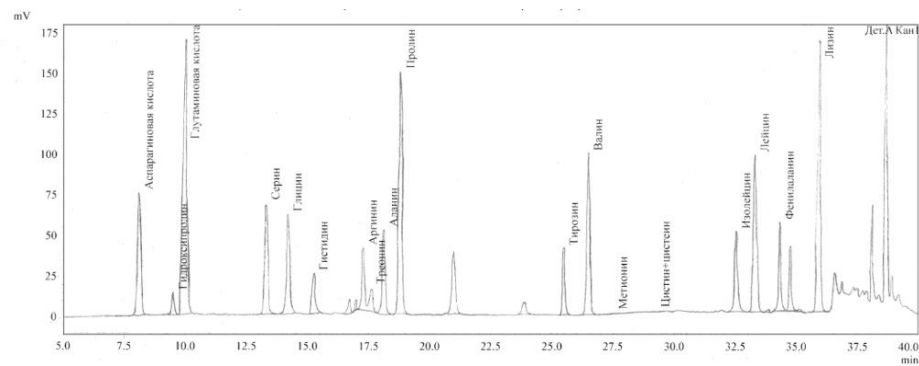
Необходимо получить достоверную информацию об аминокислотном составе плавленого сыра с коллагеном и оценить, как влияет внесение ГК в рецептуру на эти показатели. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии проведены исследования аминокислотного состава образцов плавленого сыра (таблица 16). Хроматограммы образцов приведены на рисунке 33.

Таблица 16 – Аминокислотный состав образцов плавленого пастообразного сыра (погрешность измерения 10 %)

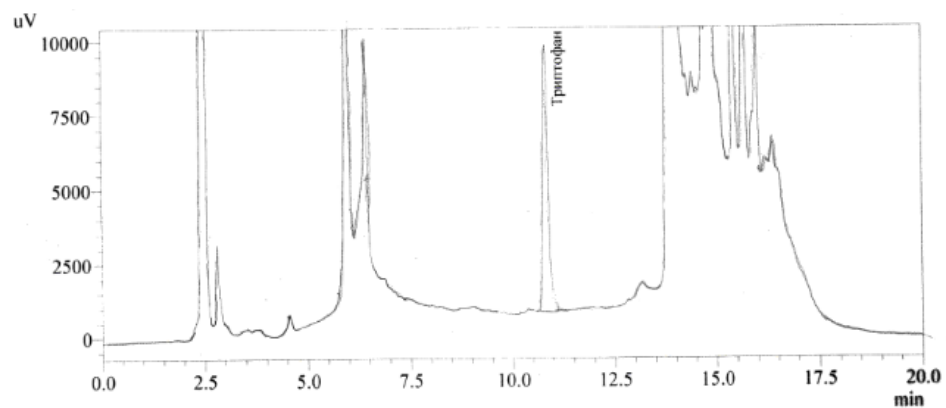
Аминокислота	Содержание в образце, мг/100 г	
	Сыр плавленый пастообразный без наполнителей (контроль)	Сыр плавленый пастообразный с коллагеном
Аспарагиновая кислота	1 010	1 100
Гидроксипролин	0	180
Глютаминовая кислота	2 850	3 200
Серин	830	910
Глицин	280	640
Гистидин	370	460
Аргинин	550	550
Треонин	830	820
Аланин	460	550
Пролин	1 470	1 740
Тирозин	640	640
Валин	920	1 000
Изолейцин	1 010	820
Лейцин	2 390	2 120
Фенилаланин	1 010	820
Лизин	1 290	1 280
Метионин	90	90
Цистин + цистеин	280	90
Триптофан	370	180



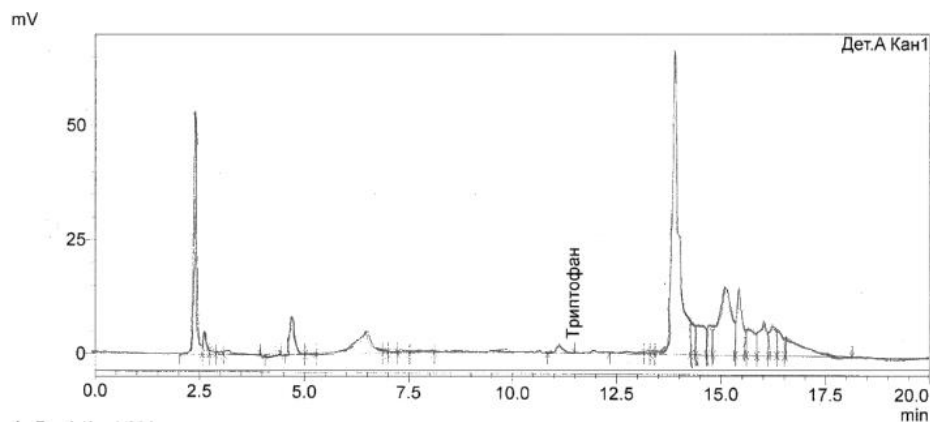
a



б



в



г

Рисунок 33 – Хроматограммы образцов сыров:

a – плавленый сыр без наполнителей (контроль); *б* – плавленый сыр с коллагеном (опыт);

в – триптофан в контрольном образце сыра; *г* – триптофан в опытном образце сыра

Анализ незаменимых аминокислот показал (рисунок 34), что добавление коллагена в опытный образец не привело к статистически значимым изменениям содержания плавленого сыра валина, треонина, лизина, метионина и лейцина (в пределах погрешности $\pm 10\%$). Отмечено снижение содержания триптофана ($-51,4\%$), изолейцина ($-18,8\%$), фенилаланина ($-18,8\%$). При этом содержание изолейцина и фенилаланина в сырье (ГК) и в контрольном образце сыра с учетом предела погрешности ($\pm 10\%$) может быть идентичным. Снижение содержания триптофана значимо выходит за пределы погрешности, что коррелирует с отсутствием этой аминокислоты в гидролизованном коллагене и указывает на достоверность результата.

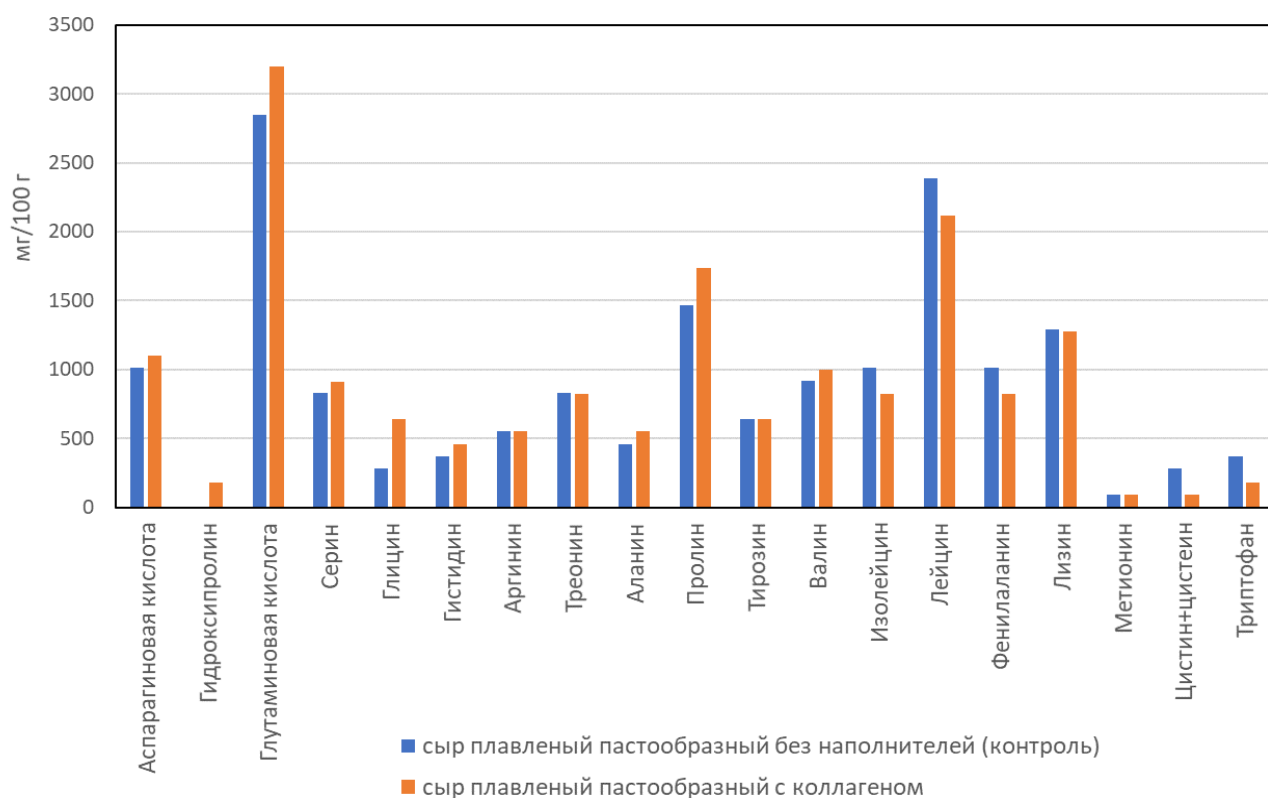


Рисунок 34 – Аминокислотный состав контрольного и опытного образцов сыров

Биологическая ценность белков пищи определяется наличием незаменимых аминокислот и их сбалансированностью. Введение ГК привело к снижению сора по большинству незаменимых аминокислот. Тем не менее сора по незаменимым аминокислотам, включая триптофан, в опытном образце превышают 100 %, за ис-

ключением суммы метионина и цистина, что ожидаемо, поскольку коллаген беден серосодержащими аминокислотами.

Добавление ГК снизило содержание незаменимых аминокислот (на 8,3 %), но увеличило содержание заменимых (на 14,7 %). При этом общее количество аминокислот возросло на 3,2 %. Суммарное содержание незаменимых аминокислот в опытном образце сыра (7 590 мг/100 г) несколько ниже, чем в контрольном (8 280 мг/100 г), что обусловлено внесением ГК, бедного триптофаном и серосодержащими аминокислотами. Сумма заменимых аминокислот увеличилась с 8 370 до 9 600 мг/100 г.

Соотношение заменимых и незаменимых аминокислот в контрольном образце составило 1,01:1, а в опытном – 1,26:1; хотя это значение еще не достигает рекомендуемого физиологического оптимума (2–2,5:1), динамика свидетельствует о смещении баланса в положительную сторону. В контексте рациона смешанного питания такое изменение баланса благоприятно, так как рацион современного человека зачастую избыточен по незаменимым аминокислотам. Плавленный сыр не рассматривается как единственный источник белка в рационе. В составе смешанного питания, включающего различные источники белка (мясо, рыба, яйца, бобовые), дефицит метионина и цистина может быть легко компенсирован. При желании для компенсации аминокислотного дисбаланса возможно включение в рецептуру 0,1–0,3 % синтетических аминокислот, натуральных источников белков с незаменимыми аминокислотами (например, сывороточного протеина) либо комбинирование в одном приеме пищи плавленого сыра с другими источниками белка (например, растительного).

Установлено, что по сравнению с контролем в образце сыра с коллагеном возросло содержание таких аминокислот, как аспарагиновая кислота, гидроксипролин, глютаминовая кислота, серин, глицин, гистидин, аланин и пролин; содержание аргинина и тирозина не изменилось, а цистина с цистеином существенно снизилось (рисунки 35 и 36). Увеличение содержания аспарагиновой кислоты (на 8,9 %) и серина (на 9,6 %) находится в пределах погрешности метода измере-

ния. Следует принять во внимание тот факт, что гидроксипролин, пролин и глицин составляют 25–30 % от общего количества белков организма человека.

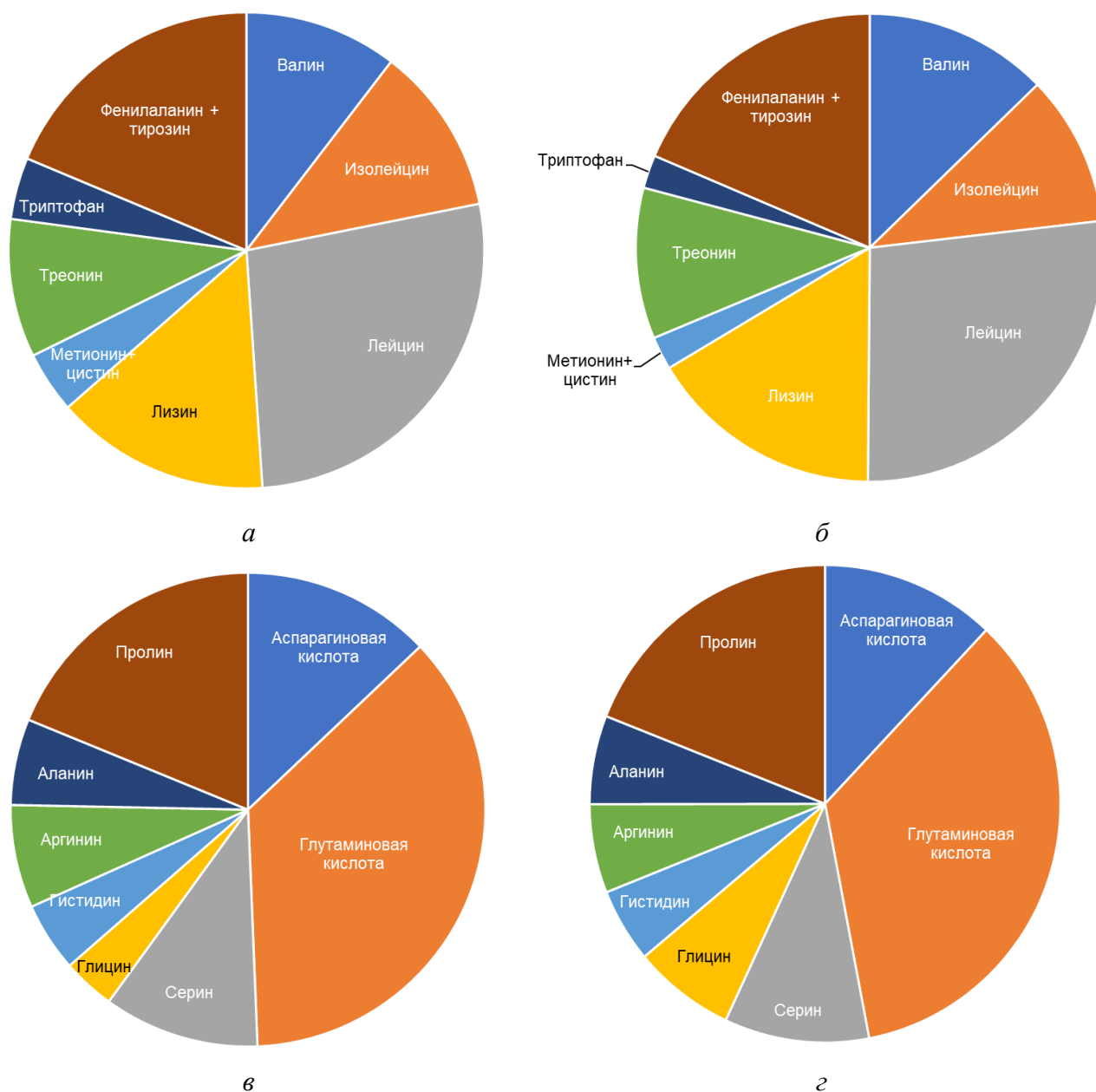


Рисунок 35 – Аминокислотный профиль образцов плавленого сыров, г/100 г:
а – незаменимые аминокислоты (контроль); *б* – незаменимые аминокислоты (опыт);
в – заменимые аминокислоты (контроль); *г* – заменимые аминокислоты (опыт)

Добавление гидролизованного коллагена в опытный образец сыра привело к появлению гидроксипролина (180 мг/100 г), который отсутствовал в контрольном образце.

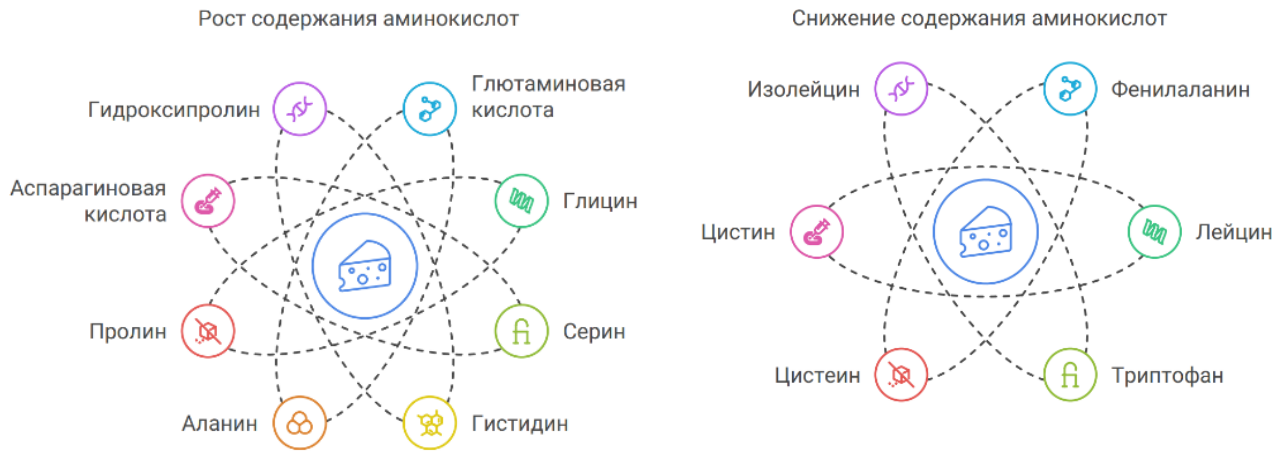


Рисунок 36 – Изменения в аминокислотном профиле сыра с коллагеном

Наиболее значительное увеличение содержания в опытном образце сыра отмечено для следующих метаболически важных аминокислот:

- глицин (на 128,6 %);
- гистидин (на 24,3 %);
- аланин (на 19,6 %);
- пролин (на 18,4 %);
- глютаминовая кислота (на 12,3 %).

Эти изменения связаны с особенностями аминокислотного состава коллагена, который включает высокие доли глицина, пролина и гидроксипролина (до 30 % от общего количества аминокислот), где они формируют повторяющиеся последовательности, характерные для тройной спирали коллагена.

Хотя все эти аминокислоты являются заменимыми, физиологическое значение их крайне велико. Заменимые аминокислоты в организме человека выполняют важные функции, причем многие из них играют не меньшую роль, чем незаменимые аминокислоты. Глицин, гистидин, аланин, пролин с гидроксипролином и глютаминовая кислота играют регулируют метаболические пути и поддерживают стабильность гомеостаза. Эти аминокислоты участвуют в синтезе белков, необходимых для выполнения структурных и метаболических функций организма. Протеиногенные аминокислоты поддерживают функционирование нервной системы, участвуя в процессах нейротрансмиссии, нейротрофики, нейропротекции. Так, глицин служит регулятором активности нервных клеток, менее известна его спо-

способность нормализовать синтез коллагена и соединительной ткани. Гемоглобин является одним из резервов гистидина в организме, и при недостатке гистидина, поступающего с продуктами питания, происходит повышенное разрушение гемоглобина. Аланин входит в состав многих белков организма человека, поддерживает энергетический обмен, участвуя в глюконеогенезе, участвует в иммунной системе, обеспечивает транспорт азота между тканями, улучшает кровообращение; в организме аланин преобразуется в глутамат, который используется для синтеза других аминокислот. Функциональная роль метаболизма пролина проявляется в окислительно-восстановительной регуляции. Пролин является нейромодулятором в головном мозге, данная аминокислота стала основой для создания нейролептиков нового поколения. Кроме того, пролин способствует заживлению ран, укрепляет сухожилия, связки и суставы, увеличивает физическую работоспособность. Глутаминовая кислота является единственной аминокислотой, поддерживающей дыхание клеток головного мозга, играет активную роль в обмене белка и в удалении из организма продуктов распада, участвует в поддержании кислотно-щелочного гомеостаза в крови и тканях [104; 133].

В настоящее время оценка качества белка определяется только содержанием незаменимых аминокислот, хотя в докладе ФАО за 2013 г. об оценке качества пищевых белков в питании человека рекомендуется провести исследования для определения важности потребления с пищей заменимых аминокислот [243].

Вопрос «заменимости» тех или иных аминокислот до сих пор остается дискуссионным. Организм человека не в состоянии полностью покрыть потребности в большинстве так называемых «заменимых» аминокислот исключительно за счет их биосинтеза синтеза. Из всех аминокислот, относящихся к заменимым, только глутаминовая кислота и серин могут быть синтезированы в достаточном количестве через преобразование кетокислот. Все остальные «заменимые» аминокислоты требуют дополнительного поступления с пищей, так как возможности их эндогенного биосинтеза в организме человека ограничены и не способны обеспечить необходимый объем. Несмотря на возможность частичного биосинтеза заменимых аминокислот, собственные ресурсы организма покрывают лишь минимальные потребности. Особенно это заметно при дефицитном белковом питании: даже при

достаточном количестве в рационе незаменимых аминокислот, когда потребность в них удовлетворена полностью, организм испытывает недостаток в заменимых аминокислотах, и уже они становятся лимитирующим фактором, т.е. недостаток «заменимых» аминокислот может ограничивать общий метаболизм [104]. К тому же, хотя физиология человека и предусматривает метаболические пути для синтеза заменимых аминокислот, остается неясным, будут ли достаточными возможности организма для удовлетворения потребностей в заменимых аминокислотах в связи со старением, физическими нагрузками и заболеваниями [258].

Баланс между незаменимыми и заменимыми аминокислотами представляет собой более благоприятную метаболическую ситуацию, чем преобладание в рационе незаменимых аминокислот, поскольку поступающие сверх потребности, они либо преобразуются в заменимые аминокислоты, либо сразу окисляются [258]. Для поддержания стабильного азотистого равновесия в организме требуется примерно в 2 раза больше белка, чем необходимо для обеспечения потребностей в незаменимых аминокислотах. Суточная потребность в заменимых аминокислотах выше, чем в незаменимых, и в настоящее время составляет 56,9 г/сут (72 %), тогда как незаменимых аминокислот требуется 22,6 г/сут (28 %). Иными словами, в соответствии с современными рекомендациями соотношение между заменимыми и незаменимыми аминокислотами в рационе должно быть около 2–2,5:1 [104].

Таким образом, хотя заменимые аминокислоты не являются лимитирующим фактором в питании, но их наличие в рационе служит обязательным условием оптимальной работы организма. Хотя «заменимые» аминокислоты синтезируются в организме, их внешнее поступление (с пищей) в достаточном количестве для обеспечения оптимальных физиологических потребностей организма – более легкий, быстрый и эффективный путь, чем эндогенный биосинтез. В ряде ситуаций, например при повышенных нагрузках (спорт, восстановление после травм и др.), когда эндогенный синтез становится недостаточным, экзогенное поступление заменимых аминокислот становится критичным.

Величины суточного потребления аминокислот для взрослых регламентируются Единными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требовани-

ями к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) в редакции, действующей с 27 февраля 2024 г. Для контрольного образца сыра и плавленого сыра с ГК рассчитано, насколько потребление порции (100 г) сыра отвечает адекватному уровню суточного потребления аминокислот (рисунок 37).

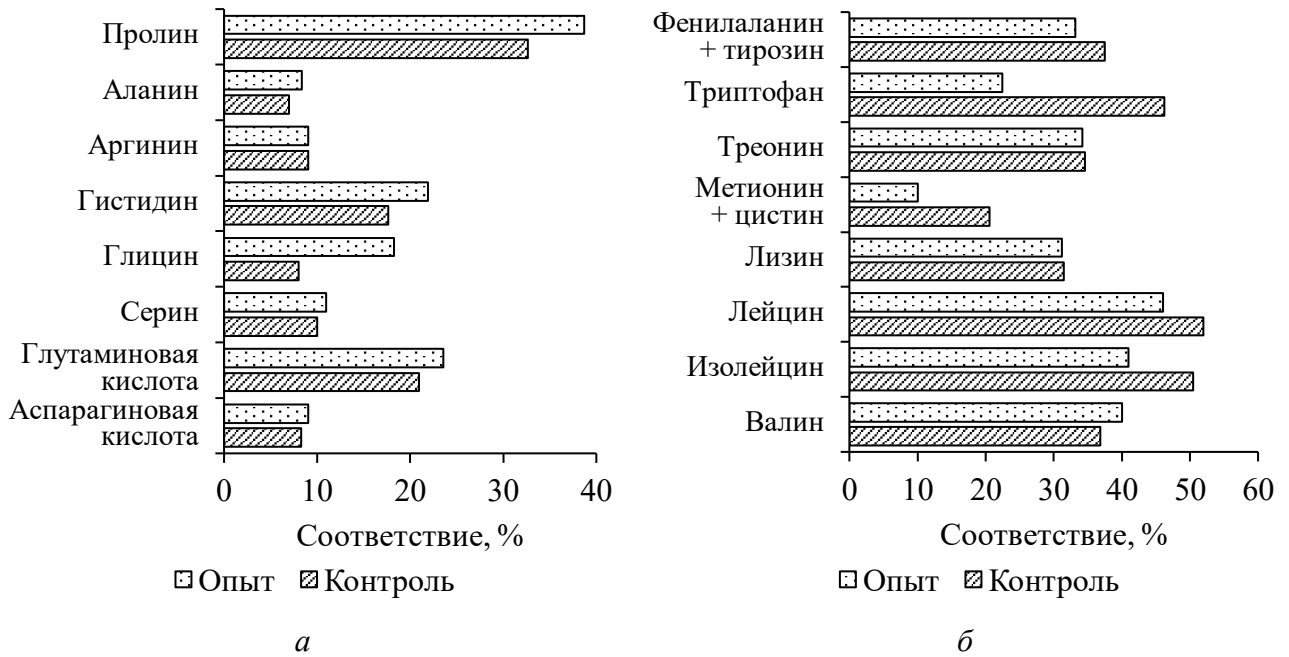


Рисунок 37 – Степень соответствия адекватному уровню потребления содержания заменимых (а) и незаменимых (б) аминокислот в образцах сыров

Установлено, что при потреблении порции плавленого сыра с ГК наиболее существенно возросла степень удовлетворения суточной потребности в глицине и пролине (дополнительно в опытном образце появился метаболит пролина – гидроксипролин, отсутствующий в контроле). При этом для лизина, треонина и аргинина показатели практически не изменились; снизилась степень удовлетворения суточной потребности в фенилаланине, тирозине, изолейцине и лейцине; наибольшая степень снижения отмечена для метионина, цистина и триптофана. Однако по абсолютной величине содержание незаменимых аминокислот в 100 г плавленого сыра с коллагеном достаточно велико. Невелик показатель для метионина и цистина, однако этими аминокислотами богаты различные злаки, и, веро-

ятно, стоит принять во внимание, что плавленый пастообразный сыр употребляется в пищу обычно вместе с различными хлебобулочными изделиями, что потенциально может скорректировать полноценность рациона.

Поскольку коллаген никогда не потребляется в качестве основного источника белка, его роль в питании должна оцениваться в контексте рациона, содержащего комплекс белков. Следует также принять во внимание, что современная модель питания обычно и так предполагает большое количество незаменимых аминокислот в рационе, что обусловлено высоким потреблением белка, получаемого из животной пищи. Так, хотя коллаген не содержит триптофан и имеет низкий уровень содержания цистеина и метионина, западный рацион питания уже содержит избыточное количество этих аминокислот [258].

Таким образом, установлено, что включение ГК в рецептуру сыра позволяет обогатить его специфическими аминокислотами (гидроксипролин, пролин, глицин), что может позиционироваться как преимущество для целевых групп: например, лиц с повышенной потребностью в синтезе соединительной ткани (травмы, старение, спорт высших достижений, генетические дефекты в синтезе коллагена, синдром Элерса – Данлоса). В нишевых продуктах, таких как «beauty cheese», «сыры для спортсменов», потенциал плавленых сыров с коллагеном может быть раскрыт полностью. Для подтверждения долгосрочных эффектов коллагенсодержащих сыров требуются клинические испытания, оценивающие их влияние на маркеры здоровья кожи и суставов.

4.4 Исследование влияния гидролизованного коллагена на изменения микроструктуры плавленого пастообразного сыра

В рамках настоящего исследования проверялась гипотеза о том, что ГК, обладая гидрофильными и эмульгирующими свойствами, способен модифицировать

микроструктуру плавленых пастообразных сыров за счет полимерно-коллоидных взаимодействий с белковой матрицей и жировой фазой. Задачей этого раздела является оценка влияния коллагена на средний размер жировых глобул и его вариабельность, на уплотнение белковой матрицы и на однородность структуры плавленого пастообразного сыра, что критично для категории сыров с высокой пластичностью, а также обоснование механизмов взаимодействия коллагеновых пептидов с компонентами сырной смеси.

Образцы хранили перед микроскопией в течение не более 2 сут после изготовления при $(4 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Образцы плавленого сыра наносили тонким слоем на предметные стекла, далее наносили водный раствор метиленового синего для повышения контрастности образцов, затем накрывали образец покровным стеклом. Для каждого образца анализировали пять случайно выбранных полей зрения на каждом увеличении, чтобы избежать ошибок из-за локальной неоднородности. Метиленовый синий связывается с кислыми компонентами – например, с отрицательно заряженными группами белков, такими как карбоксильные группы казеина. Жировые глобулы и нейтральные компоненты, например триглицериды, не окрашиваются и остаются светлыми либо прозрачными. Водная фаза может слабо окрашиваться, если содержит кислые растворимые компоненты, например лактаты. Жировые глобулы видны как округлые структуры, белковая матрица – как фон с неоднородностями, а водная фаза проявляется в виде пустот.

На рисунках 38 и 39 приведены типичные микрофотографии образцов сыра для всех исследованных степеней увеличения. На рисунке 38 приведены микрофотографии плавленого сыра, полученные в лаборатории АлтГТУ, на рисунке 39 – в лаборатории АО «Барнаульский молочный комбинат». Дополнительный массив данных о микроструктуре образцов представлен в приложении Г.

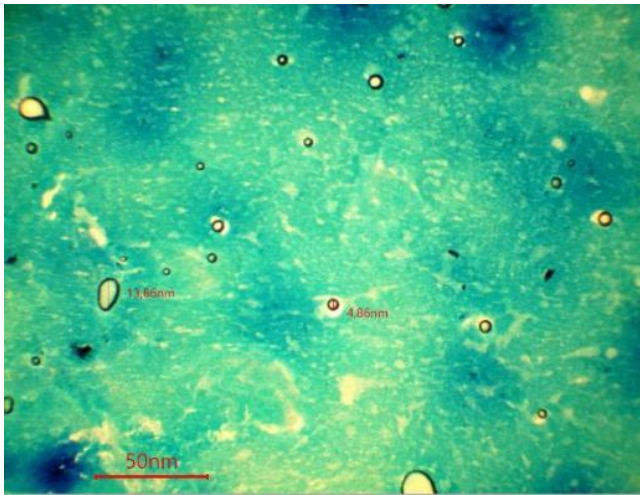
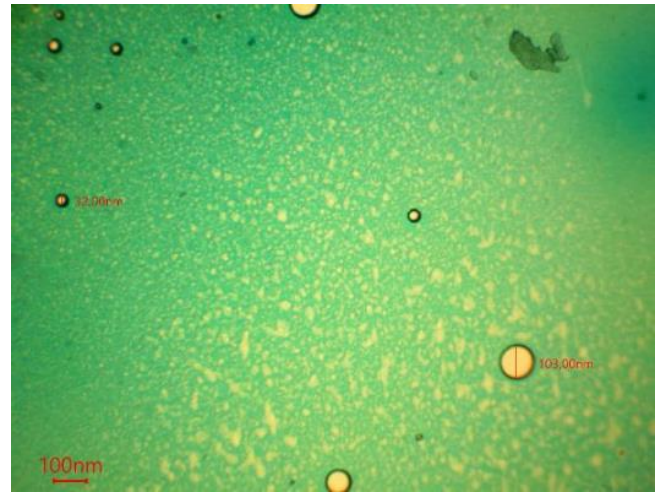
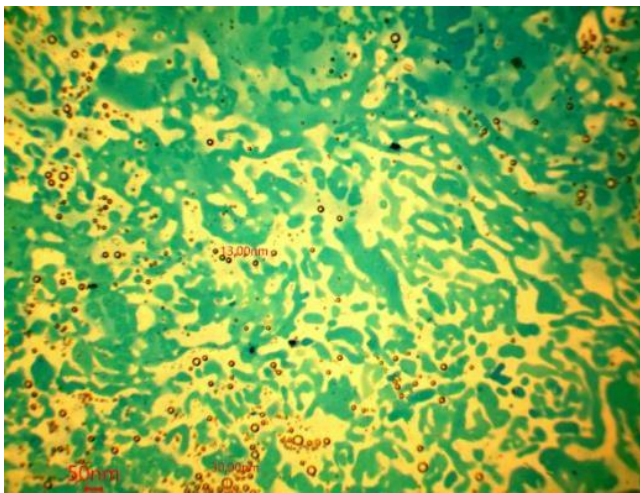
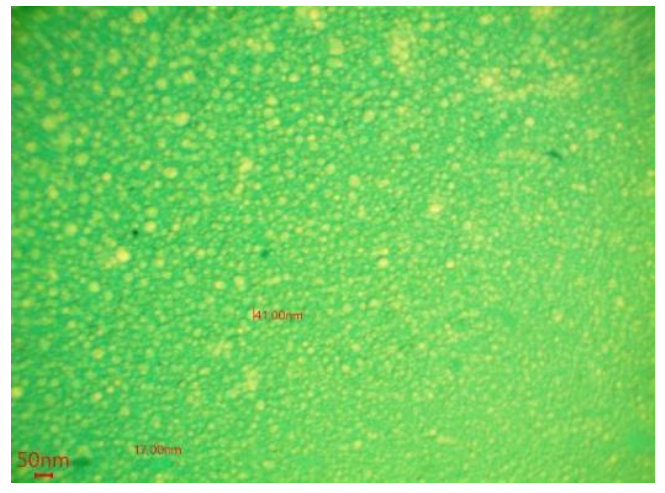
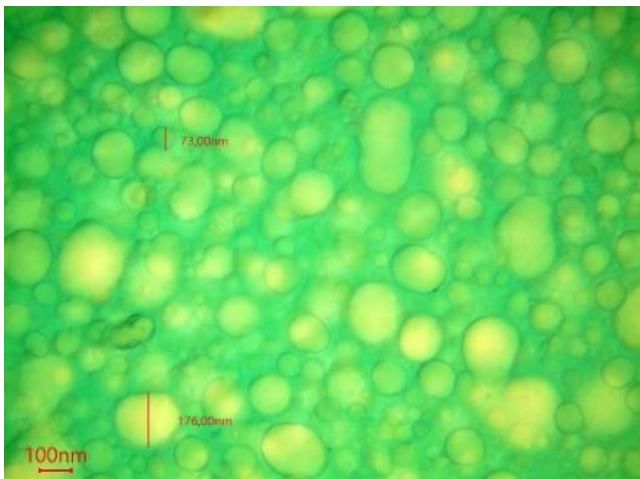
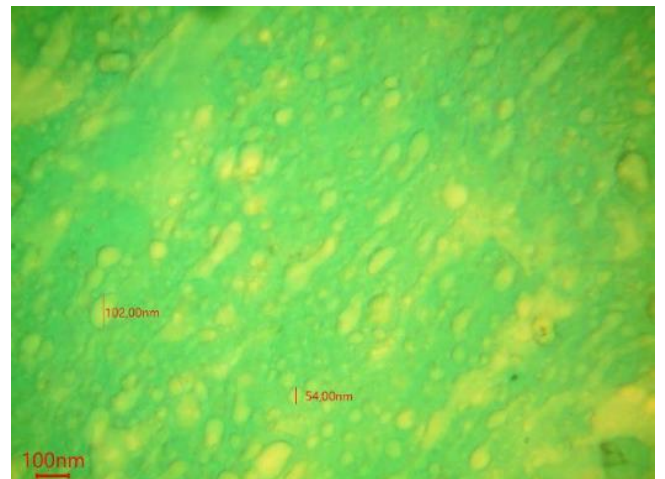
*a**б**в**г**д**е*

Рисунок 38 – Плавленный сыр:

a – без наполнителей (контроль), увеличение $\times 127$; *б* – с коллагеном, увеличение $\times 127$;
в – без наполнителей (контроль), увеличение $\times 318$; *г* – с коллагеном, увеличение $\times 318$;
д – без наполнителей (контроль), увеличение $\times 1270$; *е* – с коллагеном, увеличение $\times 1270$

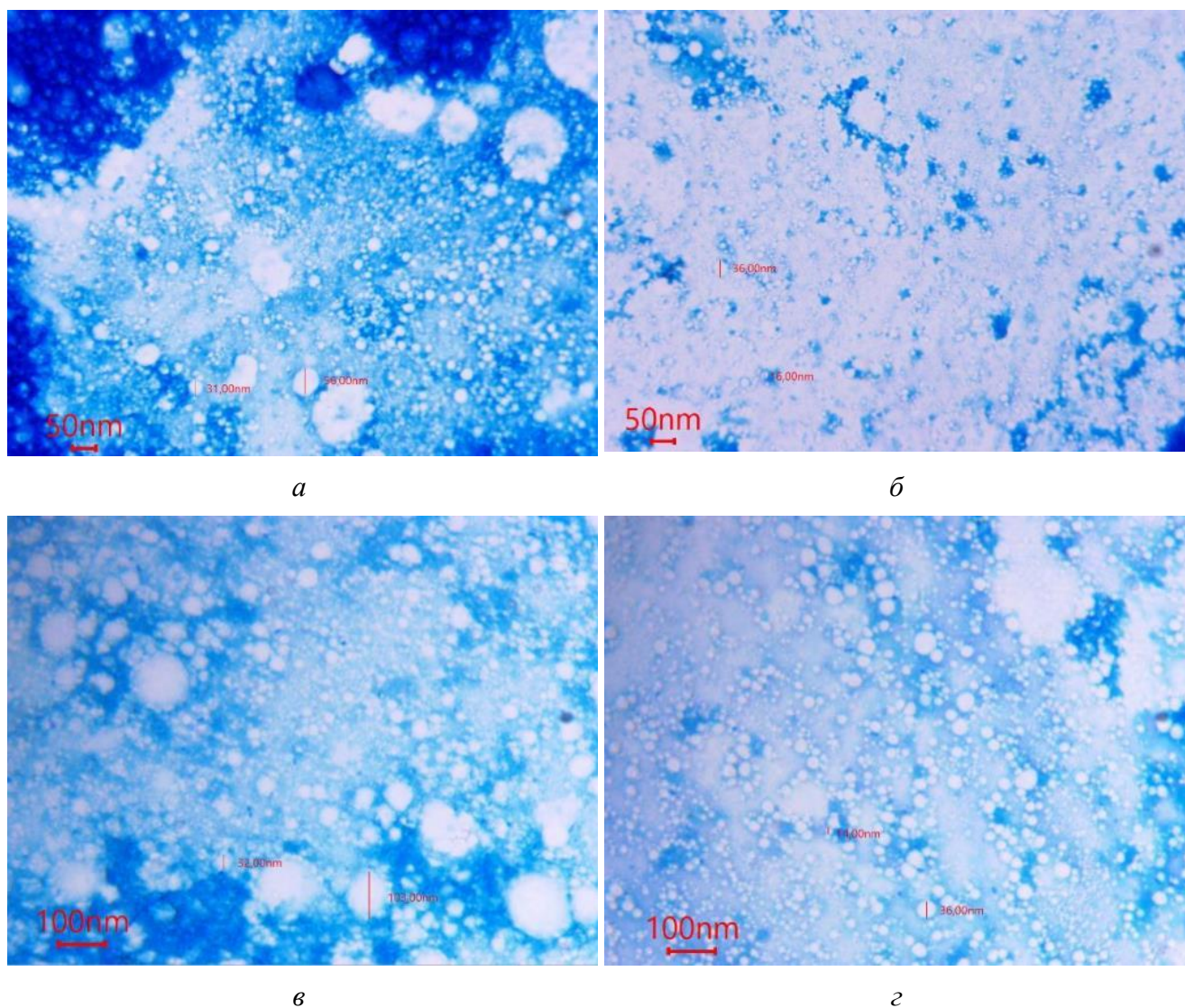


Рисунок 39 – Микроструктура образцов плавленого пастообразного сыра:
a – без наполнителей (контроль), увеличение $\times 1354$; *б* – с коллагеном, увеличение $\times 1354$;
в – без наполнителей (контроль), увеличение $\times 3384$; *г* – с коллагеном, увеличение $\times 3384$

Благодаря низкой молекулярной массе короткие пептиды ГК легко взаимодействуют с другими компонентами сыра. В контрольном образце белковая матрица – с видимыми разрывами и неравномерностями, периодически видны участки с низкой связностью. В образце плавленого сыра с ГК белковая матрица более плотная и непрерывная. Короткие пептиды ГК могут встраиваться в структуру казеиновой матрицы, образуя дополнительные «мостики» (поперечные связи), что визуально отмечено как усиление сетчатой структуры белковой матрицы. В структуре опытного образца сыра отчетливо наблюдается наличие более мелких пустот по сравнению с контрольным образцом.

Жировые глобулы в контрольном образце крупные (12–97 мкм) и неравномерно распределены, отмечаются признаки коалесценции (крупные жировые капли сгруппированы в кластеры). В образце сыра с коллагеном жировые глобулы мельче (6–29 мкм) и равномерно распределены в белковой матрице, слипание капель жира единичное. Таким образом, коллаген усилил стабильность эмульсии за счет укрепления белковой матрицы. Укрепленная белковая матрица лучше удерживает жировые глобулы, не давая им сливаться даже при механических воздействиях, например перемешивании. Мелкие жировые глобулы обеспечивают более гладкую и однородную текстуру, что особенно важно для пастообразных сыров. ГК не оказывает прямого влияния на жир в продукте, но за счет укрепления белковой матрицы и предотвращения коалесценции жировых глобул способствует сохранению мелкодисперсной жировой фазы и может косвенно стабилизировать эмульсию. Кроме того, сыр с меньшими жировыми глобулами будет лучше плавиться и распределяться – например, в соусах или при нагревании.

В пищевых эмульсиях, включая плавленые сыры, стабильность системы зависит от размера жировых капель. Мелкие глобулы (5–20 мкм) менее склонны к коалесценции из-за большей площади поверхности и электростатического отталкивания. Формируют более однородную структуру, что улучшает текстуру и срок годности сыров. Крупные глобулы (более 20 мкм) легче сливаются, что приводит к расслоению эмульсии (отделение жира или воды). Этот принцип универсален для многих эмульгированных продуктов, включая плавленый сыр. При размере глобул меньше 20 мкм уменьшается скорость всплытия жира (по закону Стокса), повышается устойчивость к окислению (меньшая площадь контакта с кислородом). Есть отличия и в органолептических свойствах: глобулы размером менее 20 мкм не ощущаются языком как «зернистые», что важно для гладкой текстуры пастообразных сыров. В исследованиях плавленых сыров оптимальный размер жировых глобул для стабильной эмульсии обычно находится в диапазоне от 5 до 20 мкм. Наш результат (средний размер жировых глобул в опытном образце составляет 14,8 мкм) попадает в этот диапазон, что подтверждает эффективность ГК, в том числе как функционально-технологического компонента.

В контрольном образце наблюдаются пустоты и каналы, где отделилась влага (признаки синерезиса). В опытном образце пустот меньше и наблюдается более равномерное распределение водной фазы, структура выглядит более связной. ГК обладает высокой способностью связывать воду благодаря наличию гидрофильных групп в своей структуре. Коллаген связывает воду, снижая подвижность жировых глобул и замедляя их перемещение и слипание. Таким образом, установлено, что коллаген повысил водосвязывающую способность образца.

На микрофотографиях образца с коллагеном наблюдается на 20 % меньше пустот и уменьшение среднего размера жировых глобул на 44 % (с 26,5 до 14,8 мкм), что свидетельствует о том, что ГК укрепил белковую матрицу, создал физический барьер, препятствующий коалесценции жировых капель, стабилизировал эмульсию и улучшил реологические характеристики плавленого сыра.

Выявленные особенности микроструктуры плавленого сыра, обобщенные в таблице 17, отражаются на его свойствах. Поскольку в опытном образце жировые глобулы мельче, пустот меньше, а белковая матрица плотнее, сыр с коллагеном будет более пластичным.

Таблица 17 – Типичные изменения при добавлении коллагена

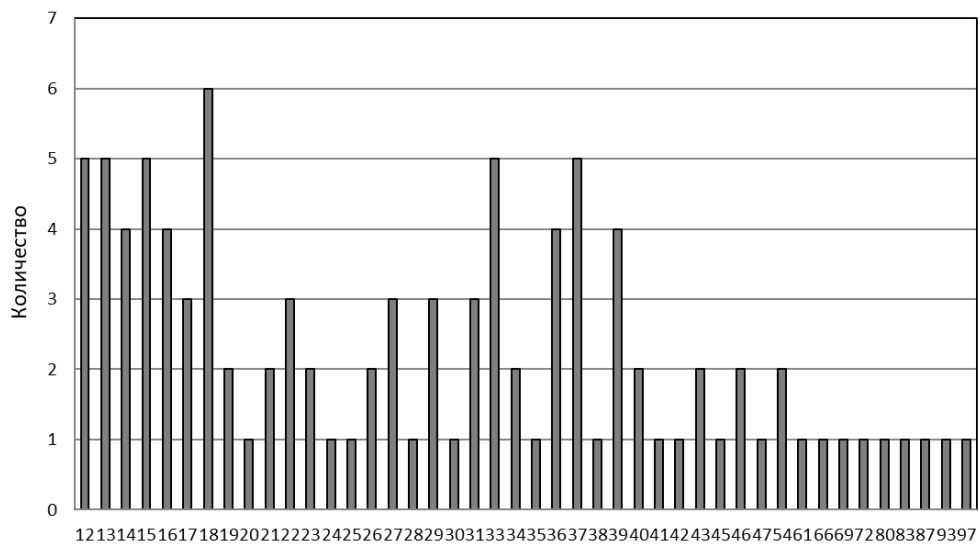
Параметр	Контрольный образец (без наполнителей)	Опытный образец (с коллагеном)
Жировые глобулы	Крупные, неравномерные, средний размер 26,5 мкм	Мелкие, равномерные, средний размер 14,8 мкм
Белковая матрица	С разрывами, неравномерная	Плотная, непрерывная
Водная фаза	Пустоты, трещины	Минимум пустот

Выявленные зависимости отражаются и на потребительских достоинствах плавленого сыра. Уменьшение и выравнивание размеров жировых глобул обеспечивает гладкость и однородность текстуры (важно для пастообразных сыров), а также стабильность при нагреве, такой сыр лучше плавится и распределяется (важно для горячих блюд и соусов).

Для инструментального анализа полученных данных о микроструктуре с помощью пакета обработки изображений Fiji ImageJ2 проведена оценка размеров

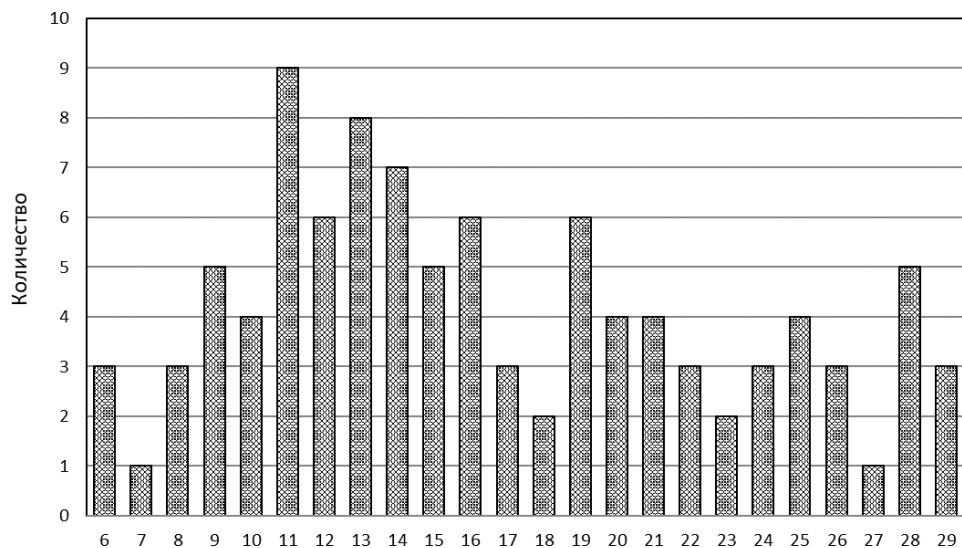
жировых глобул в образцах плавленого сыра, построены гистограммы распределения и сделан расчет статистических показателей. Измерения жировых глобул проводились с шагом 50 мкм по сетке 3×3 в центре поле зрения, при этом исключались краевые эффекты. Для детектирования контуров глобул использовались возможности Fiji ImageJ2 (пороговое значение яркости более 200 на шкале 0–255).

Гистограммы распределения размеров жировых глобул для обоих образцов приведены на рисунке 40.



Размер жировой глобулы, мкм

a



Размер жировой глобулы, мкм

б

Рисунок 40 – Распределение размеров жировых глобул в образцах плавленого пастообразного сыра: *a* – без наполнителей (контроль); *б* – с коллагеном

В контрольном образце сыра распределение правостороннее с длинным «хвостом» в сторону крупных глобул (до 97 мкм), есть отдельные выбросы (жировые глобулы размером более 50 мкм). В образце плавленого пастообразного сыра с ГК распределение близко к нормальному с пиком на 11–15 мкм, диапазон сужен по сравнению с контрольным образцом (6–29 мкм), выбросы отсутствуют.

Важно обратить внимание на разницу в диапазонах размеров. В контрольном образце размеры варьируются от 12 до 97 мкм, а в опытном – от 6 до 29 мкм. Это указывает на то, что добавление ГК способствует более однородной структуре глобул. Установлено (таблица 18), что в опытном образце средний размер жировых глобул снизился на ~44 % (с 26,5 до 14,8 мкм). Стандартное отклонение уменьшилось в 3 раза, что указывает на большую однородность размеров. Узкий диапазон (6–29 мкм) и отсутствие выбросов говорят о стабилизации структуры.

Таблица 18 – Основные статистические показатели размера жировых глобул образцов плавленого пастообразного сыра

Показатель	Значение, мкм	
	Контрольный образец	Опытный образец
Диапазон	От 12 до 97	От 6 до 29
Средний размер	26,47	14,81
Медиана	22	12
Стандартное отклонение	18,2	6,1

Для достоверных выводов о влиянии ГК необходимо дать оценку статистической значимости различий в размере жировых глобул контрольного и опытного образца. С целью кросс-валидации расчетов используем оба метода (параметрический и непараметрический).

Проведем проверку выполнения условий для применения параметрических тестов (t -критерий Стьюдента предполагает нормальность распределения и равенство дисперсий).

Для контрольного образца проверка нормальности распределения (тест Шапиро – Уилка) показала, что распределение не нормальное (асимметричное) с вы-

бросами ($p\text{-value} < 0,05$). В опытном образце нормальность распределения не отвергается ($p\text{-value} > 0,05$). Так как одно из распределений не нормальное (у контрольного образца нарушено условие нормальности), параметрический t -критерий может быть ненадежен. Но поскольку выборка большая ($N = 100$), t -критерий можно использовать либо применить непараметрические тесты (U -критерий Манна – Уитни).

Для оценки равенства дисперсий используем тест Левена:

$$F = \frac{SD_1^2}{SD_2^2} = \frac{18,2^2}{6,1^2} = 8,9, \quad (10)$$

где SD – стандартное отклонение выборки.

Тест Левена показал, что дисперсии не равны ($p\text{-value} < 0,001$), поэтому используем t -критерий Уэлча (формула (11)). Размеры выборок N равны (по 100 жировых глобул в каждой), что хорошо для мощности тестов.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2}{N_1} + \frac{SD_2^2}{N_2}}} = \frac{26,47 - 14,81}{\sqrt{\frac{18,2^2}{100} + \frac{6,1^2}{100}}} = 6,07, \quad (11)$$

где \bar{X} – средний размер жирового шарика в выборке, мкм; N – размер выборки.

Степени свободы для критерия Уэлча рассчитываем по формуле

$$df = \frac{\left(\frac{SD_1^2}{N_1} + \frac{SD_2^2}{N_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{SD_1^2}{N_1}\right)^2}{N_1 - 1} + \frac{\left(\frac{SD_2^2}{N_2}\right)^2}{N_2 - 1}} = \frac{(3,3124 + 0,3721)^2}{\frac{3,3124^2}{99} + \frac{0,3721^2}{99}} = 117,6. \quad (12)$$

Для $t = 6,07$ и $df \approx 118$, p -значение $< 0,0001$, т.е. средние размеры жировых глобул в контрольном и опытном образцах сыров статистически значимо различаются ($p < 0,05$).

Дополнительно рассчитаем по формуле размер эффекта (d Коэна), который показывает, насколько велико различие между выборками:

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{pooled}}; S_{pooled} = \sqrt{\frac{(SD_1^2 + SD_2^2)}{2}}. \quad (13)$$

$$d = \frac{26,47 - 14,81}{13,57} = 0,86; S_{pooled} = \sqrt{\frac{(18,2^2 + 6,1^2)}{2}} = 13,57.$$

Установлен большой размер эффекта по критерию Коэна ($d = 0,86$; $d > 0,8$).

Проведем непараметрический тест Манна – Уитни (U -тест). Сначала объединяем данные контрольной и опытной выборок в один список и ранжируем все значения от наименьшего к наибольшему. Присваиваем ранги (от 1 до 200). Если значения повторяются (совпадения), присваиваем им средний ранг. Рассчитаем сумму рангов R_1 для контрольного и R_2 для опытного образца.

Расчет U -статистики ведется по формуле

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}; U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}, \quad (14)$$

где $n_1 = n_2 = 100$.

$$U_1 = 14650 - \frac{100 \cdot 101}{2} = 9600; U_2 = 5450 - \frac{100 \cdot 101}{2} = 400.$$

$$U = \min(U_1, U_2) = 400.$$

Минимальное из U_1 и U_2 используется для сравнения с критическим значением. Для $n_1 = n_2 = 100$ при $\alpha = 0,05$, критическое значение $U_{\text{крит}} \approx 3960$. Если $U < U_{\text{крит}}$, $U = 400 < 3960$, различия значимы.

Хотя ANOVA используется для трех и более выборок, а в нашем случае их две и тест избыточен, но, тем не менее, однофакторный анализ также подтвердил статистическую значимость различий ($p < 0,0001$), что согласуется с t -критерием.

Степени свободы для ANOVA (между выборками и внутри выборки) рассчитываются следующим образом.

$$df_1 = k - 1 = 2 - 1 = 1, \quad (15)$$

где k – количество выборок (в нашем случае две – контроль и опыт).

$$df_2 = M - k = (100 + 100) - 2 = 198, \quad (16)$$

где M – общее количество наблюдений.

Сведем в единую таблицу результаты тестов для полноты анализа выборок (таблица 19).

Таблица 19 – Статистическая оценка значимости различий в размере жировых глобул

Показатель	Значение
Параметрический тест (t -критерий Уэлча)	
t -статистика	6,07
Степени свободы (df)	117,6
p -value	Менее 0,0001
Размер эффекта (d Коэна)	0,86 (большой)
Непараметрический тест (U -критерий Манна – Уитни)	
U -статистика	400
p -value	Менее 0,0001
Однофакторный анализ (ANOVA)	
F -статистика	36,89
p -value	Менее 0,0001

Гипотеза H_0 отвергается во всех тестах. Как параметрические, так и непараметрические тесты подтвердили, что различия между группами статистически значимы ($p < 0,05$), размер эффекта указывает на значимость различий. Тесты подтвердили, что добавление ГК значимо влияет на размер жировых глобул в плавленом сыре, существенно уменьшая их средний размер ($p < 0,0001$). Размер эффекта ($d = 0,86$) классифицируется как «большой» по критериям Коэна, что согласуется с гипотезой о стабилизирующем действии коллагена.

Таким образом, подтвердилась гипотеза о том, что ГК в плавленом сыре действует как эмульгатор, предотвращая коалесценцию жировых глобул. Добавление ГК приводит к значительному уменьшению и выравниванию размеров жировых глобул, что позволяет прогнозировать улучшение текстуры и стабильность плавленого сыра.

Проведена оценка однородности белковой матрицы в образцах плавленого сыра с помощью инструмента Interactive 3D Surface Plot пакета Fiji ImageJ2, позволяющего создать из двухмерных микрофотографий образцов 3D-график поверхности, где каждая точка имеет координаты x , y (как и в 2D-изображении), а z отражает яркость точки на 2D-фотографии, которая интерпретируется как высота для графика. Поверхности построены на основе преобразования Фурье.

В контексте микроструктуры сыра (рисунок 41) высокие пики коррелируют с плотными участками белковой матрицы образцов, низкие области – поры, водная фаза или жировые глобулы, градиент цвета (от синего к белому) показывает изменение высоты (интенсивности).

В контрольном образце наблюдается неоднородная поверхность: высокие пики (белковые агрегаты) чередуются с глубокими впадинами, крупные впадины указывают на высокую пористость образца, низкая плотность пиков свидетельствует о слабом поперечном сшивании белковой матрицы. В образце плавленого пастообразного сыра с коллагеном наблюдается более гладкая поверхность: уменьшение перепадов высоты за счет уплотнения белковой матрицы, мелкие впадины указывают на снижение пористости, высокая плотность пиков свидетельствует об усилении белковой матрицы.

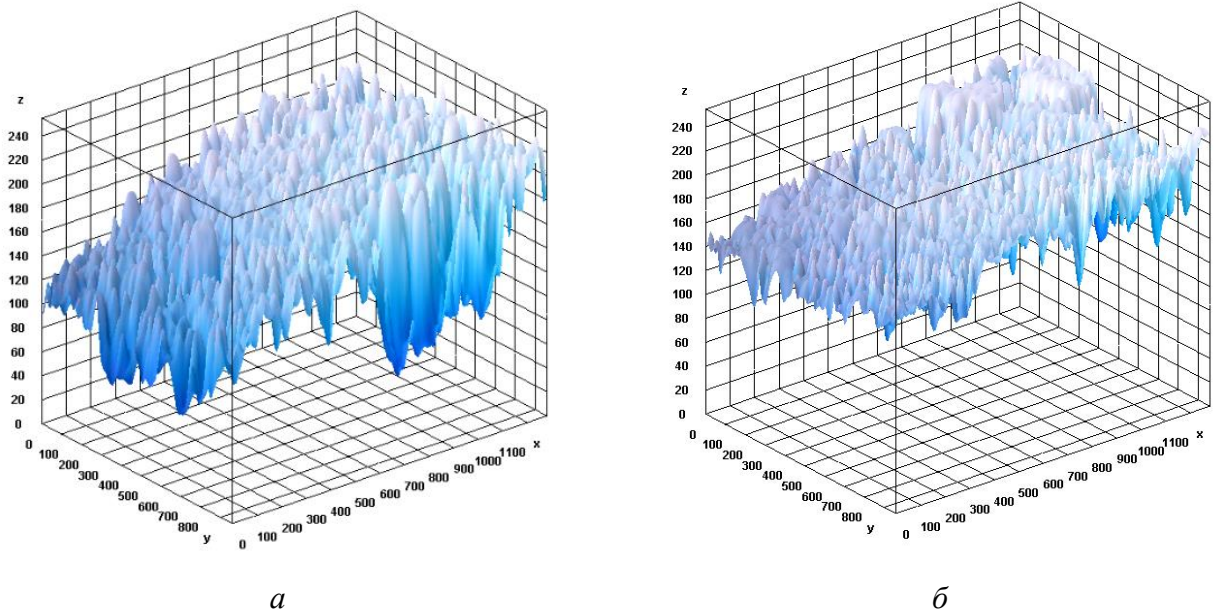


Рисунок 41 – Однородность белковой матрицы в образцах плавленого пастообразного сыра: *a* – без наполнителей (контроль); *б* – с коллагеном (опыт)

Таким образом, нами впервые установлено, что включение ГК в состав плавленого пастообразного сыра индуцирует ряд структурно-функциональных изменений в его микроструктуре (рисунок 42), обусловленных физико-химическими взаимодействиями между коллагеновыми пептидами и остальными компонентами рецептуры, в основе которых, на наш взгляд, лежат механизмы (рисунок 43), описанные далее.

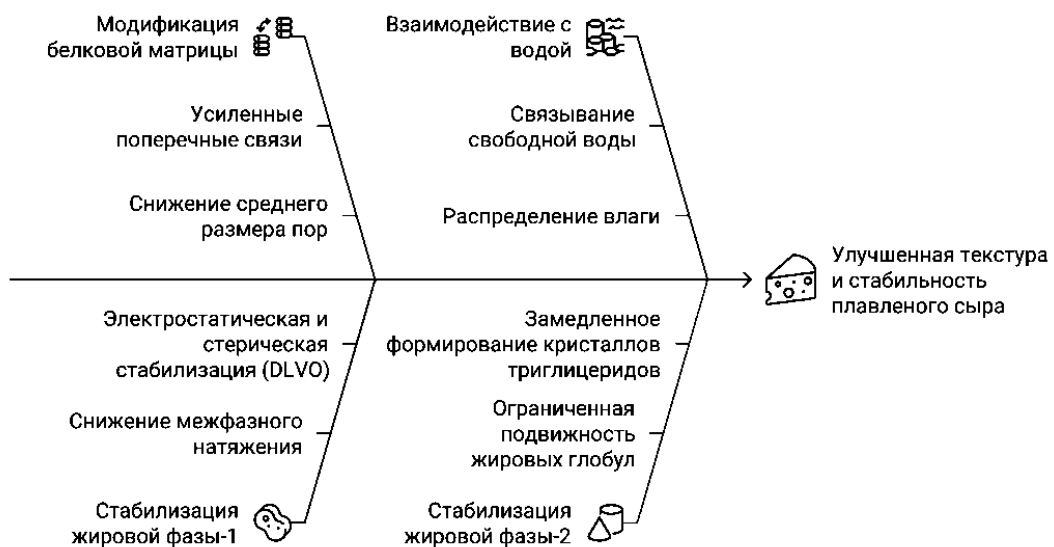


Рисунок 42 – Влияние гидролизованного коллагена на свойства плавленого пастообразного сыра

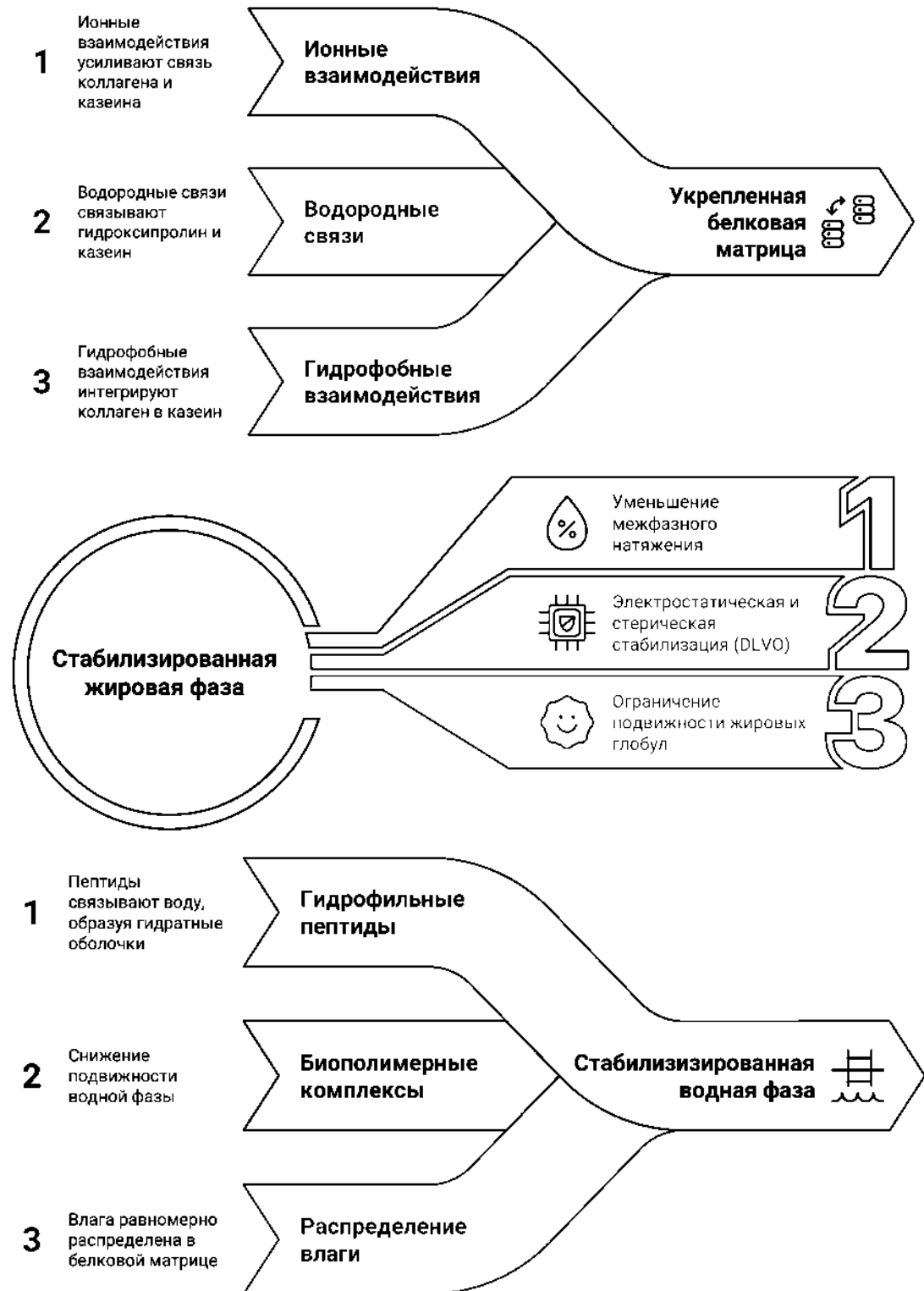


Рисунок 43 – Механизм взаимодействия коллагена с основными компонентами сыра

В основе модификации белковой матрицы лежат полимерно-коллоидные взаимодействия. Плавленный сыр представляет собой полимерный аморфный гель на основе казеина, стабилизированный солями-плавителями, которые индуцируют частичную денатурацию белков, пептизацию казеиновых мицелл и обеспечи-

вают формирование гомогенной структуры. ГК интегрируется в эту белковую матрицу через ионные и гидрофобные взаимодействия и водородные связи, формируя гибридную биополимерную сеть.

Пептиды гидролизованного коллагена, содержащие повторяющиеся последовательности Pro-Hyp, взаимодействуют гидрофобными участками с κ - и α -казеина, усиливая прочность белковой матрицы. Гидрофобные кластеры (например, участки, богатые Pro в ГК) интегрируются в гидрофильные карманы казеиновых агрегатов. Отрицательно заряженные карбоксильные группы ГК вступают в ион-дипольное взаимодействие с положительно заряженными аминокетильными группами лизина казеина, особенно в присутствии солей-плавителей, регулирующих ионную силу. Гидроксильные группы гидроксипролина в ГК формируют водородные связи с карбонильными группами казеина, повышая прочность белковой матрицы. В комплексе эти взаимодействия приводят к увеличению степени прочности поперечных связей белковой матрицы, что подтверждается снижением среднего размера пор на микрофотографиях, что соответствует модели Флори – Хаггинса.

Жировая фаза плавленого сыра – это эмульсия типа «масло в воде», где жировые глобулы диспергированы в белковой матрице. ГК влияет на их стабильность несколькими путями:

– через уменьшение межфазного натяжения: амфифильные пептиды ГК, содержащие гидрофильный гидроксипролин и гидрофобный глицин, адсорбируются на поверхности жировых глобул, снижая энергию Гиббса на границе раздела фаз, что способствует формированию более мелких глобул (в нашем случае средний диаметр снижается с 26,5 до 14,8 мкм);

– посредством электростатической и стерической стабилизации: анионные пептиды ГК образуют слой вокруг глобул, предотвращая коалесценцию по механизму DLVO (Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека) за счет увеличения энергетического барьера между каплями;

– через усиление вязкоупругих свойств белковой матрицы: укрепленная матрица ограничивает подвижность жировых глобул, подавляя их ортокинетическую агрегацию.

Кроме того, ГК замедляет формирование крупных кристаллов триглицеридов, что дополнительно отражается на текстуре сыра, позволяя ей оставаться пластичной.

Водная фаза в плавленом сыре также претерпевает модификацию. ГК проявляет выраженную гидрофильность благодаря высокому содержанию полярных аминокислот (например, гидроксипролина). Это приводит к связыванию свободной воды и равномерному распределению влаги. Пептиды ГК (группы $-OH$ гидроксипролина и $-COOH$ глутаминовой кислоты) формируют клатратоподобные структуры с водой, образуя гидратные оболочки вокруг своих гидрофильных групп, что снижает активность воды и уменьшает подвижность водной фазы. Гидратированные пептиды ГК интегрируются в казеиновую сеть, формируя биополимерные комплексы, которые равномерно распределяют воду в белковой матрице и способствуют ее иммобилизации. На микрофотографиях это проявляется как уменьшение макропор и отсутствие зон локальной дегидратации.

Возможно, что внесение ГК способно повышать стабильность сырной смеси при плавлении. Пептиды ГК повышают температуру денатурации казеинового геля, что критично на этапе плавления, особенно при выборе режима высоких температур (90 °C и выше). Также возможно, что укрепленная белковая матрица сыра с ГК лучше выдерживает температурные колебания (например, во время хранения). Эти предположения требуют дополнительных экспериментов.

Таким образом, добавление ГК в состав плавленого пастообразного сыра приводит к уплотнению белковой матрицы и стабилизации жировой эмульсии за счет полимерно-коллоидных взаимодействий между коллагеновыми пептидами и казеином, что проявляется в уменьшении размера жировых глобул на 44 %, отсутствии их коалесценции и кластеризации, снижении на 20 % пористости белой матрицы и повышении однородности распределения водной фазы, что подтверждается данными микроскопии, статистическим анализом и изучением теоретических механизмов стабилизации эмульсий.

В эксперименте показано, что ГК действует как многофункциональный модификатор структуры плавленого пастообразного сыра, обеспечивая формирова-

ние гибридной казеин-коллагеновой матрицы с повышенной прочностью поперечных связей, коллоидную стабилизацию жировой эмульсии через механизмы DLVO (Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека) и стерического отталкивания, а также через контроль активности воды за счет гидратации.

4.5 Исследование влияния гидролизованного коллагена на реологические характеристики плавленого пастообразного сыра

Плавленый сыр можно описать как вязко-упруго-пластичный материал, реологическое поведение которого хорошо описывает модель Хершеля – Балкли или Бингама. Одним из ключевых параметров, влияющих на потребительские характеристики таких продуктов, являются реологические свойства: вязкость, адгезия, упругость и прочность. Несмотря на известное применение ГК в молочной промышленности, его влияние на реологию плавленых сыров остается малоизученным. При этом очевидно, что включение в рецептуру плавленого сыра ГК может оказывать значительное влияние на реологическое поведение продукта. Известно, что глицин, аланин и пролин, которыми богат ГК, способствуют взаимодействию растворенных веществ и растворителей, что отражается на гидратационных свойствах компонентов пищевых систем и может влиять на реологические свойства продукции [249]. Поэтому необходимо изучить взаимосвязь между внесением ГК в рецептуру плавленого сыра и изменением его реологических свойств.

В рамках настоящего исследования проверялась гипотеза о том, что ГК коллаген, обладая гидрофильными и эмульгирующими свойствами, способен модифицировать реологическое поведение плавленых сыров за счет взаимодействия с казеиновыми мицеллами и жировыми глобулами. В отличие от исследований коллагена в молочных напитках, акцент был сделан на вязкоупругие свойства системы, что актуально для категорий сыров с высокой пластичностью.

Предварительные эксперименты показали, что целесообразно использовать индентор типа «ножевой», изготовленный из нержавеющей стали (лезвие 40×5 мм, угол наклона 90°), что обеспечивало контакт площадью 0,0002 м².

Типичное взаимодействие образцов плавленого сыра с индентором показано на рисунке 44. Видно, что образец с ГК в значительно большей степени обладает вязкостными и адгезионными свойствами по сравнению с контрольным образцом сыра, что визуально выражается в большей степени налипания на индентор.

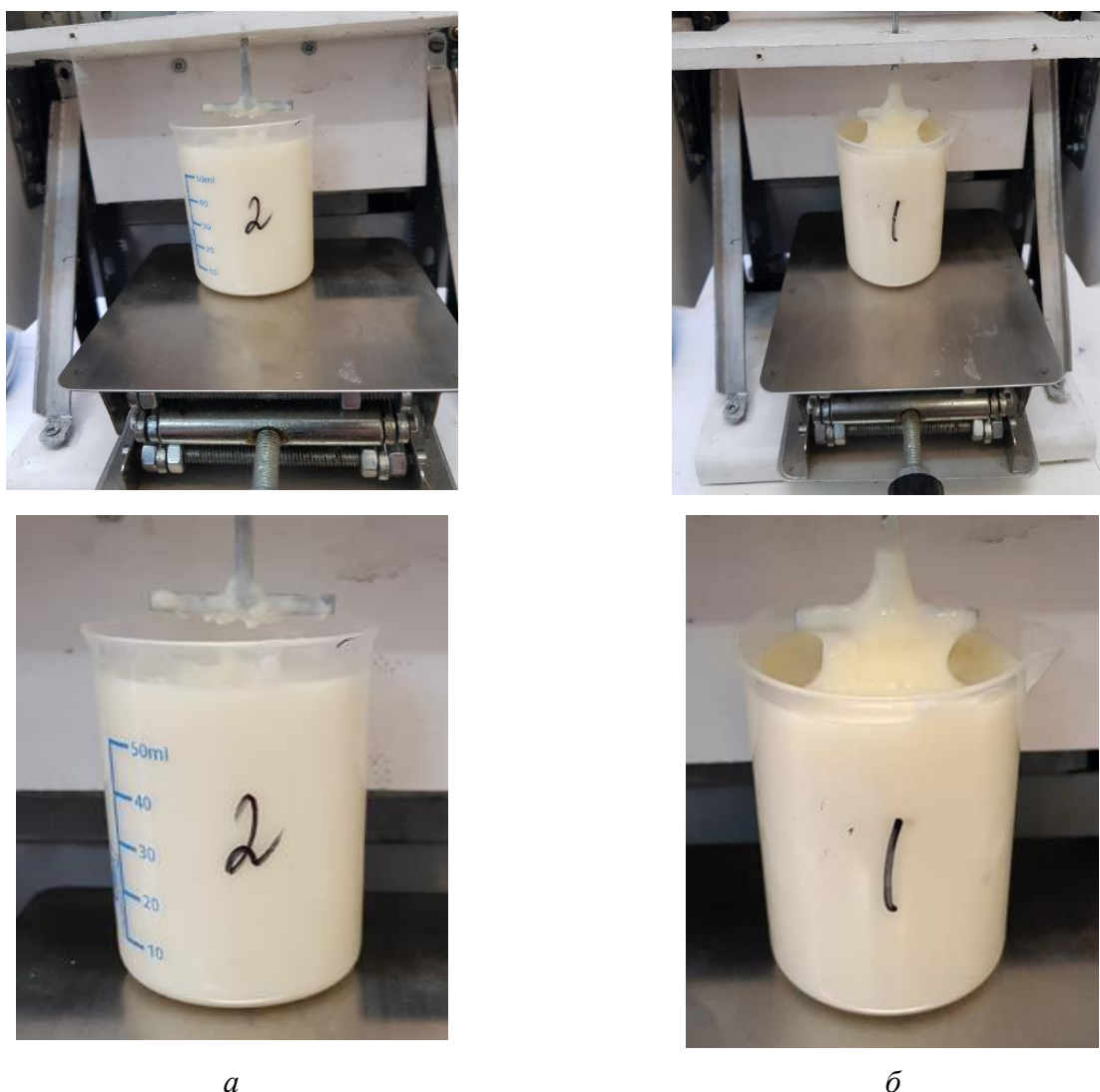


Рисунок 44 – Типичное взаимодействие контрольного (*a*) и опытного (*б*) образцов плавленого сыра с индентором в процессе измерений

Реологические исследования были проведены в следующем режиме: глубина погружения индентора 0–50 мм, скорость погружения 10 мм/с, температура

образцов и окружающей среды (20 ± 1) °С. На рисунке 45 представлены графики, отображающие величину сопротивления деформации (напряжение сдвига), которое оказывает плавленый сыр погружаемому в него индентору.

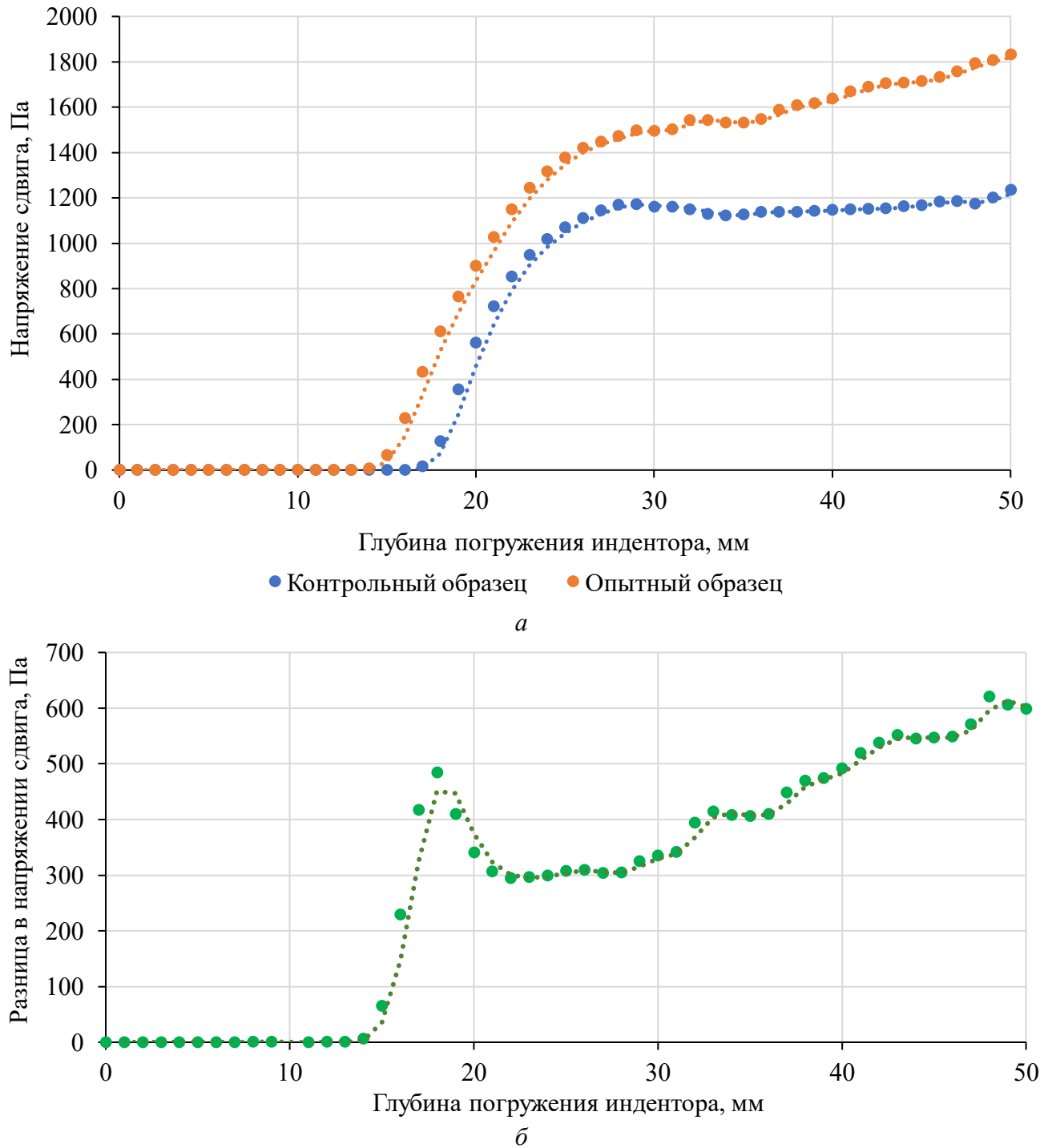


Рисунок 45 – Реограммы плавленого пастообразного сыра:
а – зависимость напряжения сдвига от глубины погружения индентора;
б – различия между образцами

Видно, что напряжение сдвига сначала минимально, затем увеличивается с глубиной, достигает максимума, а потом наблюдается тенденция к стабилизации. Такое поведение типично для пластичных материалов, которые сначала деформируются упруго, затем пластически.

Образец сыра с ГК в значительно большей степени обладает вязкостными и адгезионными свойствами по сравнению с контрольным образцом. Анализ рисунка 45, *а* подтверждает увеличение вязкости в опытном образце сыра по сравнению с контрольным, включение ГК увеличивает сопротивление деформации.

Зависимость напряжения сдвига от глубины погружения имеет нелинейный характер, что соответствует неньютоновскому поведению.

На кривых отчетливо видно отсутствие пиков предела прочности как в момент начала эксперимента (соприкосновения поверхности сыра с индентором), так и на протяжении всего хода эксперимента. Нарастание напряжения сдвига идет плавно, резкого падения напряжения сдвига после превышения предела прочности в образцах не наблюдается. В контрольном образце напряжение сдвига плавно растет до $\sim 1\,234$ Па, затем стабилизируется, отсутствие явно выраженных пиков указывает на пластичное поведение. В опытном образце максимальное напряжение сдвига достигает $\sim 1\,833$ Па, рост сопротивления деформации более выражен, отмечается высокая адгезия: налипание на индентор (см. рисунок 44). На глубине 50 мм среднее напряжение сдвига для контроля составило $(1\,234,31 \pm 152,88)$ Па, а для опыта $(1\,832,60 \pm 186,69)$ Па. Сопротивление деформации для образца сыра с ГК составило $1\,832,6$ Па, что на 48 % выше контроля ($1\,234,31$ Па).

В контрольном образце средняя скорость изменения напряжения сдвига составляет $\sim 24,5$ Па/мм (равномерное нарастание напряжения сдвига), в опытном образце средняя скорость изменения напряжения сдвига $\sim 34,3$ Па/мм. Таким образом, влияние ГК выразилось в возрастании средней скорости изменения напряжения сдвига, вязкость в опытном образце возросла на 40 % по сравнению с контролем.

Рисунок 45, *б* позволяет количественно оценить различия: максимальная разница в напряжении сдвига на инденторе составляет ~ 588 Па, средняя разница между образцами составляет ~ 392 Па.

Для оценки значимости отличий средних двух групп (контроль, опыт) при соблюдении условий используют t -критерий Стьюдента. Нормальность распределения подтверждена с использованием критерия Шапиро – Уилка. Однако по критерию Левена равенство дисперсий не подтвердилось ($p < 0,05$) и условия для t -критерия Стьюдента не соблюдены, для сравнения групп применен t -критерий Уэлча. Получено значение $p = 0,024$, так как $p < 0,05$, отвергаем гипотезу H_0 , разница в 392 Па между образцами статистически значима.

С целью кросс-валидации расчетов дополнительно проведен однофакторный анализ (ANOVA) с поправкой Уэлча для оценки значимости различий и внутригрупповой вариабельности между контрольным и опытным образцами (по тесту Шапиро – Уилка, распределения нормальны, по критерию Левена дисперсии неравны). Контрольный образец: среднее напряжение сдвига 1 234,31 Па, стандартное отклонение 152,88 Па. Опытный образец: среднее напряжение сдвига 1 832,60 Па, стандартное отклонение 186,69 Па. Результаты показали, что F -статистика равна 43,21, $p\text{-value} < 0,001$, что указывает на статистически значимые различия между группами. Коэффициент вариации для контрольного образца составил 12,3 % (152,88 Па), для опытного – 10,2 % (186,69 Па), что указывает на более высокую дисперсию в группе с коллагеном. Межгрупповая вариабельность составила 598,29 Па (48 % от среднего значения контрольного образца). И параметрический тест по t -критерию Уэлча, и ANOVA подтвердили статистическую значимость различий в реологических свойствах образцов.

Установлено, что внесение ГК увеличило вязкость сыра, но практически не обеспечило прочностных свойств: характерных пиков предела прочности в экспериментальном сыре не наблюдалось. Коллаген конкурирует с казеином за Ca^{2+} -связи, что снижает эффективность образования ковалентных сшивок, вместо этого формируются водородные связи с гидрофобными участками коллагена, что объясняет вязкостное, а не упругое поведение системы. Таким образом, вязкие свойства преобладают над упругими, сыр остается пластичным, что хорошо для пастообразных продуктов.

Добавление ГК приводит к статистически значимому увеличению вязкости плавленого сыра на 40 % ($p = 0,024$, t -тест Уэлча), что согласуется с гипотезой о формировании водородных связей между пептидами коллагена и казеином. Пики предела прочности в образцах отсутствуют, что может быть связано с отсутствием ковалентных сшивок в системе.

Проведения параллельных реологических исследований для нескольких идентичных образцов (контроль и опыт) плавленого сыра, отобранных каждый от одной партии, показало большую сходимость данных (рисунок 46). Корреляцию между повторностями оценивали по коэффициенту Пирсона, который для опытного образца составил $r = 0,93$ и для контрольного $r = 0,98$ ($p < 0,001$ для обоих случаев). Высокая корреляция ($r > 0,9$) подтверждает высокую воспроизводимость и надежность методики.

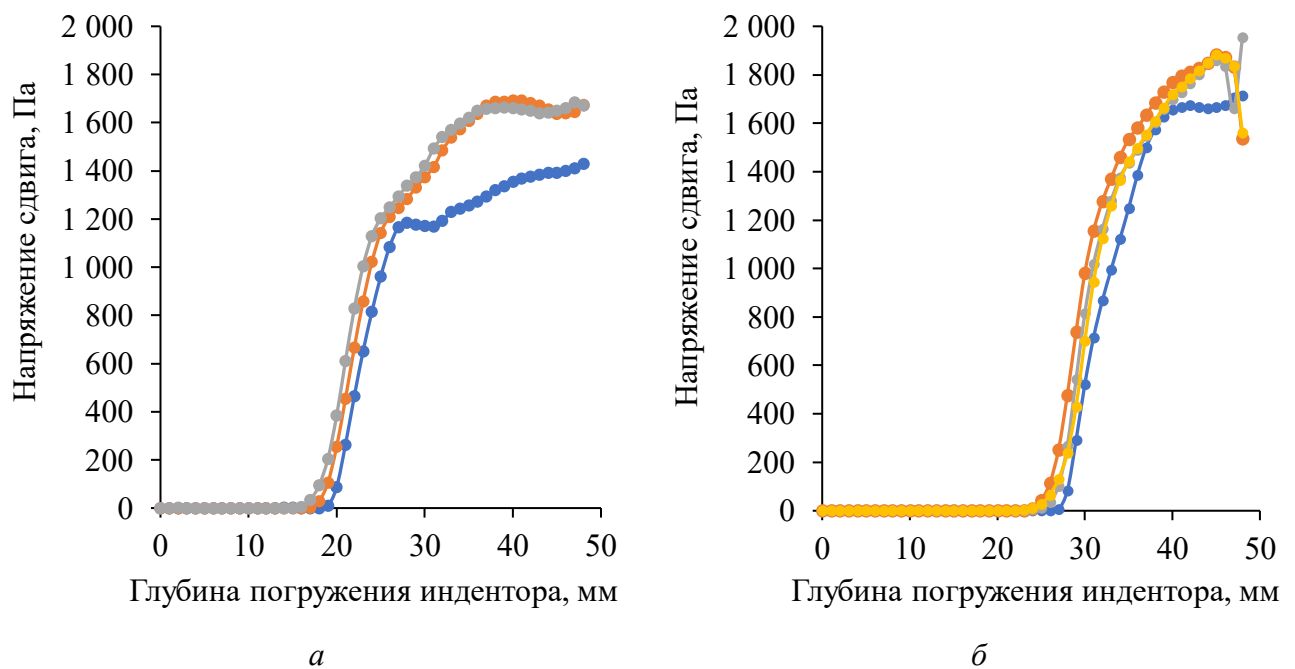


Рисунок 46 – Сходимость экспериментальных данных в параллельных измерениях:
а – контрольный образец; б – опытный образец

Отмечено неньютоновское поведение образцов: напряжение сдвига растет нелинейно с глубиной погружения индентора. Реологическое поведение неньютоновских жидкостей в целом хорошо описывает модель Хершеля – Балкли, кото-

рая представляет собой комбинацию Бингамовской и степенной модели. Модель Хершеля – Балкли описывает материалы с пределом текучести (τ_0), после преодоления которых деформация становится пластичной, бингамовская модель предполагает, что материал ведет себя как твердое тело до достижения τ_0 , а затем течет как вязкая жидкость. Наш эксперимент проводился при постоянной скорости погружения индентора v (10 мм/с), но глубина погружения h менялась (от 0 до 50 мм), что приводит к изменению скорости деформации. При изменяющейся скорости деформации при погружении индентора более адекватной альтернативой модели Хершеля – Балкли является модель Сиско, которая используется для описания нелинейного поведения неьютоновских жидкостей. Эта модель полезна, когда есть начальное напряжение (τ_0) и степенная зависимость для более высоких скоростей деформации как в нашем случае. Модель Сиско учитывает эту зависимость и позволяет описать нелинейное поведение материалов, где при низких скоростях деформации доминирует вязкость, а при высоких – упругость.

В основе выявленных закономерностей, на наш взгляд, лежат следующие основные механизмы:

- гидратация пептидов коллагена → рост вязкости за счет связывания воды;
- адсорбция на жировых глобулах → усиление адгезии;
- отсутствие ковалентных сшивок → сохранение пластичности.

Аминокислотный состав коллагена играет важную роль в гидратационных процессах. Аминокислотный состав нативного коллагена включает глицин около 30 % от общего числа аминокислот, пролин около 15 % и аланин около 10 % [274]. Гидрофильные аминокислоты коллагена связывают воду. Полярные группы ($-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$) глицина и аланина формируют гидратные оболочки вокруг пептидов коллагена, увеличивая общую гидратационную емкость пищевой системы, что приводит к снижению подвижности свободной воды в сырной массе и росту вязкости в опытном образце сыра. Пролин нарушает упорядоченность казеиновых мицелл, что увеличивает площадь контакта между белковыми фазами и водой, усиливая вязкоупругие свойства. Коллагеновые пептиды благодаря наличию гидрофобных участков адсорбируются на поверхности жировых глобул, формируя

межфазные слои. Это усиливает адгезию между жировой и водной фазами, что визуально проявляется в налипании массы на индентор. Коллаген конкурирует с казеином за участки гидратации, что объясняет отсутствие роста прочности, несмотря на увеличение вязкости. Схематично модель взаимодействия можно представить следующим образом: казеин- Ca^{2+} -казеин + коллаген \rightarrow казеин-коллаген (водородные связи) + Ca^{2+} (слабые ионные связи) (рисунок 47).



Рисунок 47 – Схема взаимодействия коллагена с казеином

Увеличение вязкости опытного образца (на 40 %) связано с формированием «псевдосетки» за счет водородных связей между ГК и казеином и с повышением плотности жировой фазы из-за адсорбции коллагена на глобулах. Предел прочности в сырах возникает при разрушении ковалентных сшивок в белковой сетке. В нашем случае коллаген не образует таких связей, что регистрируется как плавный рост напряжения сдвига и отсутствие влияния на предел прочности. Отсутствие пиков предела прочности свидетельствует о том, что коллаген в сырной массе не формирует жесткую белковую матрицу, что критично для пастообразных сыров, где пластичность – ключевой параметр.

Установлено, что внесение ГК в рецептуру способствует улучшению структурно-механических свойств плавленых сыров (рисунок 48).

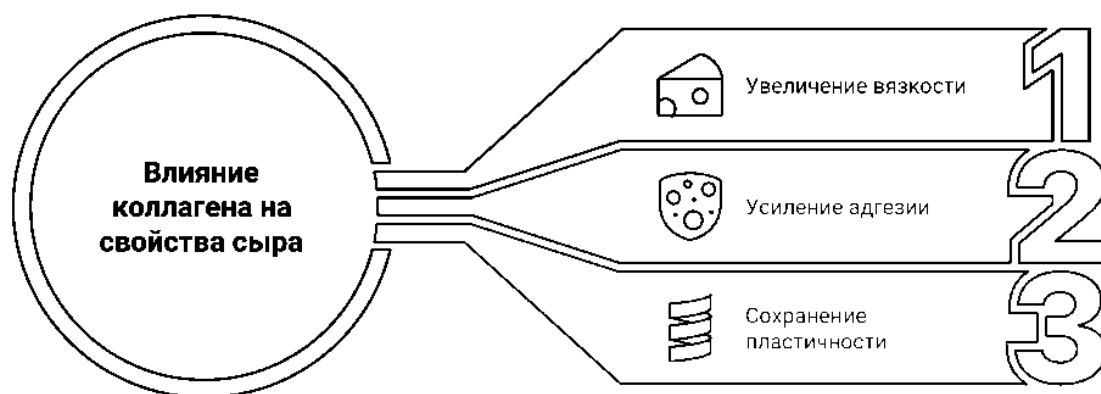


Рисунок 48 – Влияние коллагена на реологические свойства плавленного пастообразного сыра

Внесение ГК влияет на потребительские достоинства плавленного сыра: вязкие свойства преобладают над упругими, сыр остается пластичным (важно для пастообразных сыров), рост вязкости способствует стабильности продукта при нагреве (важно для горячих блюд с сыром). ГК перспективен для продуктов, требующих высокой адгезии и пластичности: пастообразные сыры, сыры для соусов. Использование ГК не рекомендовано в сырах, где важна высокая структурная прочность (ломтевые сыры, в том числе колбасный сыр).

4.6 Технология плавленного пастообразного сыра «Сырме» с гидролизированным коллагеном, пшеничными отрубями и лецитином подсолнечника

Сыр плавленный пастообразный «Сырме» вырабатывается из сычужных сыров, творога, масла сливочного, сливок, сухого обезжиренного молока, ГК, лецитина подсолнечника, отрубей пшеничных, солей-плавителей, регуляторов кислотности, соли и воды. Фантазийное название «Сырме» – комбинация русского «сыр» и английского «me» – «мне», чистота товарного знака проверена на декабрь 2022 г.

Разработано два варианта рецептур сыра в зависимости от массовой доли жира в сухом веществе – 55 % или 60 % (таблица 20). Наличие двух рецептурных решений демонстрирует гибкость предложенного подхода и его адаптивность к различным группам потребителей. Сыр «Сырме» предназначен для непосредственного употребления в пищу, может использоваться в кулинарии и общественном питании.

Таблица 20 – Рецептуры сыра плавленого пастообразного «Сырме» (на 1 т)

Наименование сырья	Масса, кг, для сыра с массовой долей жира в сухом веществе	
	55 %	60 %
Сыр сычужный полутвердый с массовой долей сухого вещества 56 %, жира в сухом веществе 45 %	261,6	290,1
Творог с массовой долей сухого вещества 25 %, жира 5 %	102,0	102,0
Масло крестьянское сладко-сливочное с массовой долей сухого вещества 75 %, жира 72,5 %	239,1	284,1
Сливки с массовой долей сухого вещества 41 %, жира 35 %	122,4	61,2
Сухое обезжиренное молоко с массовой долей сухого вещества 96 %	10,6	21,8
Соль пищевая	1,0	1,0
Соль-плавитель	20,4	20,4
Лимонная кислота	1,0	1,0
Наполнители (суммарно): в том числе ГК 30 кг, лецитин 30 кг, отруби 10/15 кг	75,0	70,0
Вода питьевая	186,9	168,4
<i>Всего</i>	<i>1 020,0</i>	<i>1 020,0</i>
Выход	1 000,0	1 000,0

В качестве наполнителей используются ГК по ТУ 10.89.19-003-0160057957-2021, лецитин подсолнечника по ГОСТ 32052, отруби пшеничные по ГОСТ Р 53496. Наполнители вносятся исходя из следующих рекомендованных величин: коллаген и лецитин по 3 %, отруби 1 или 1,5 %.

Технологическая схема производства плавленого пастообразного сыра «Сырме» приведена на рисунке 49.

Технологический процесс	Параметры и показатели
Подбор сырья для плавления Камеры для хранения и созревания	$t = -4 \dots -8 \text{ } ^\circ\text{C}$ либо $t = 10-12 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\text{pH сыра} = 5,7-5,3 \text{ ед.}$
Предварительная обработка молочного сыра Машина для снятия парафина и мойки сыра	$t_{\text{воды для парафина}} = 90-95 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{\text{воды для ополаскивания}} = 40-45 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{\text{воды для замачивания}} = 40-45 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{замачивания}} = 1,5-2,0 \text{ ч}$ $t_{\text{сыроторки для дефростации}} = 18-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{\text{воздуха для дефростации}} = 18-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 8-15 ч $M_{\text{масла}} = 2-3 \text{ кг}$
Измельчение сыра Волчок, вальцовка, ванна-накопитель	$M_{\text{сыра}} = \text{до } 1 \text{ кг}$
Подготовка наполнителей Сушильный шкаф, сосуды из термостойких материалов	$t_1 = t_3 = 40-50 \text{ } ^\circ\text{C}; t_2 = 85-90 \text{ } ^\circ\text{C}; \tau_{\text{выдержки}} = 8-10 \text{ мин}$ $t_{\text{воздуха}} = 200-250 \text{ } ^\circ\text{C}; \tau_{\text{выдержки}} = 10-15 \text{ мин}$ $t_{\text{смеси}} = 80-85 \text{ } ^\circ\text{C}; \tau_{\text{выдержки}} = 5-7 \text{ мин}$
Подбор и приготовление солей-плавителей Весы, сосуды из химически стойких материалов	$M_{\text{сухой соли}} = \text{до } 2 \text{ кг}/100 \text{ кг}$ $V_{20\% \text{ раствора соли}} = 8,4 \text{ л}/100 \text{ кг}$ $t_{\text{нагрева раствора}} = 80-90 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{\text{охлаждения раствора}} = 18-20 \text{ } ^\circ\text{C}$
Составление сырной смеси Загрузочный ковш	В соответствии с рецептурой
Плавление сырной смеси Аппарат для плавления сырной смеси	$t_{\text{плавления } 1} = 65-70 \text{ } ^\circ\text{C}; t_{\text{плавления } 2} = 85-90 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{плавления}} = 15-20 \text{ мин,}$ в том числе 5-7 мин при $t_{\text{плавления } 2}$
Фасование и охлаждение Автомат фасовочно-упаковочный, холодильная камера	$t_{\text{сырной массы}} = 70-80 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{\text{воздуха при охлаждении}} = -4 \dots -6 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{охлаждения}} \text{ от } 30 \text{ мин до } 12-16 \text{ ч}$ $t_{\text{охлажденного сыра}} = 8-15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Рисунок 49 – Технология производства плавленого пастообразного сыра «Сырце»

Для обеспечения нормального процесса плавления сыра, требуемых показателей качества готового продукта особое внимание следует уделять подбору сырья

по степени зрелости, активной кислотности и органолептическим показателям. Лучшие результаты дает переработка сыров с рН 5,3–5,7. Отобранный для переработки сыр освобождают от полимерной пленки или парафинового покрытия, моют, зачищают корковый слой, поврежденные места и ополаскивают. Творог зачищают с поверхности, при необходимости освобождают от излишней влаги прессованием и вальцуют. Поверхность монолита масла перед переработкой зачищают от штаффа и разрезают на куски массой 2–3 кг. Сухие компоненты просеивают.

Подготовка наполнителей (коллаген, лецитин, отруби) состоит в смешивании их с водой при температуре $(95 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в соотношении 1:5 и выдержке при температуре в течение 2–3 мин (в этом случае в дальнейших расчетах смеси необходимо учитывать внесенную воду) или обработке в жарочном шкафу при температуре 200–250 $^\circ\text{C}$ в течение 2–3 мин.

Подготовленное и рассортированное по виду, массовой доле жира и качеству сырье (сыры, творог) направляют на дробление. Каждый вид сырья измельчают отдельно и загружают в ванну-накопитель.

Подбор солей-плавителей производят применительно к исходному сырью (степень зрелости сыра, активная кислотность). Для плавления сыра используют конденсированные фосфаты натрия. Рекомендуемая дозировка солей-плавителей на 100 кг сырной массы составляет до 2 кг безводной соли, т. е. 8,4 л 20 % раствора или 6,7 л 25 % раствора. При использовании растворов солей-плавителей в расчетах необходимо учитывать воду, вносимую с ними.

Для составления смеси для плавления пользуются формулами материального баланса с расчетом получения готовой продукции, требуемой жирности и влажности. Вначале определяют примерные соотношения компонентов смеси с учетом потерь, заложенных в рецептурах, затем по данным анализа сырья рассчитывают количество сухих веществ и массовую долю жира в каждом виде сырья, определяя, какое количество жира и сухих веществ надо отнять или прибавить.

Плавление подготовленной сырной смеси проводят в закрытых аппаратах с паровой рубашкой и механической мешалкой. Нагревание сырной смеси ведут

постепенно пуском пара в межстенное пространство котла при давлении от 1,5 до 2 атм или введением пара непосредственно в сырную смесь. Во избежание пригара на дно котла помещают часть масла, затем сычужный сыр и творог, затем сухое обезжиренное молоко. Затем в котел вносят соли-плавители, подготовленные наполнители, часть воды, массу подплавляют до температуры 65–70 °С, вносят сливки, остальные части масла, воды и плавят до готовности. При использовании агрегата для измельчения и плавления все компоненты закладываются одновременно с учетом внесения солей-плавителей и наполнителей в последнюю очередь.

Температура плавления сыра колеблется от 85 °С до 90 °С в зависимости от состава, свойств сырья и хода процесса плавления. Для получения более однородной консистенции рекомендуется при плавлении применять вакуум при наличии технической возможности плавильного агрегата. Для улучшения эмульгирования жира и получения более тонкой структуры плавленый сыр может быть гомогенизирован. Конец плавления определяют по состоянию массы, которая становится однородной и достаточно текучей, без наличия не расплавившихся частиц сыра.

Расплавленную сырную массу в горячем состоянии направляют в фасовочно-упаковочный автомат. Сыры могут быть упакованы в полимерные стаканчики и коробочки массой от 100 до 250 г. Фасованный сыр охлаждают на стеллажах или тележках при температуре воздуха от 4 °С до 8 °С.

Проведена комплексная оценка свойств разработанного плавленого пастообразного сыра «Сырте», данные сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Характеристики плавленого пастообразного сыра «Сырте»

Показатель	Массовая доля жира в сухом веществе согласно НД, %	
	55,0	60,0
Органолептические характеристики		
Вкус и запах	Сырный, кисломолочный	Сырный, сливочный, пресноватый
Консистенция	Нежная, пластичная. Однородная по всей массе	Нежная, кремообразная. Однородная по всей массе
Вид на разрезе	Рисунок отсутствует, видны частицы отрубей	
Цвет	Светло-желтый	

Продолжение таблицы 21

Показатель	Массовая доля жира в сухом веществе согласно НД, %	
	55,0	60,0
Физико-химические характеристики		
Массовая доля жира в сухом веществе, %	55,0 ± 0,5	60,0 ± 0,8
Массовая доля влаги, %	52,0 ± 0,3	50,0 ± 0,5
Массовая доля пищевой соли, %	0,31 ± 0,05	0,28 ± 0,05
Активная кислотность, ед. рН	6,0 ± 0,3	5,4 ± 0,2
Микробиологические характеристики		
КМАФАнМ, КОЕ/г	2,4·10 ³	2,2·10 ³
БГКП в 0,1 г сыра	Не обнаружены	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г	19	Не обнаружены
Пищевая и энергетическая ценность		
Белок, г	17,6 ± 0,2	16,0 ± 0,1
Жир, г	26,4 ± 0,1	31,0 ± 0,1
Углеводы, г	1,85 ± 0,15	2,00 ± 0,05
Энергетическая ценность, ккал/кДж	316,0/1310,0	342,0/1416,0

Для обоснования сроков годности плавленого сыра «Сырте» проведено исследование динамики его показателей при хранении, режим хранения (6 ± 2) °С, относительная влажность воздуха 56–66 %, образцы до отбора проб на исследования хранились в закрытой пластиковой упаковке (полимерные стаканчики). Программа испытаний включала изучение в образцах качественного и количественного состава микрофлоры на соответствие требованиям ТР ТС 033/2013, активной кислотности, органолептических показателей.

Согласно ПНСТ 826-2023 «Продукция пищевая. Определение срока годности. Общие требования» (применяется с 1 августа 2023 г.) установлен коэффициент резерва 1,3 для продукции со сроком годности до 30 сут; 1,5 для продукции диетического профилактического и диетического лечебного питания со сроком годности не более 60 сут. Для надежности выводов исследования для плавленого пастообразного сыра «Сырте» был выбран коэффициент резерва 1,5 (45 сут).

Результаты микробиологических исследований плавленого сыра «Сырте» в процессе хранения приведены в таблице 22. Установлено, что высокие температуры, воздействующие на компоненты смеси для плавления, способны обеспечить микробиологическую чистоту и высокую стойкость сыра «Сырте» при хранении. Таким образом, по микробиологическим показателям для плавленого сыра «Сырте» установлен срок годности 30 сут.

Таблица 22 – Микробиологические показатели качества плавленого сыра «Сырте»

Продолжительность хранения, сут	КМАФАнМ, КОЕ/г	Титр БГКП, мл	Дрожжи, КОЕ/г,	Плесени, КОЕ/г
Норма по ТР ТС 033/2013	$1 \cdot 10^4$	Отсутствие в 0,1 г	Не более 100	Не более 100
Сыр с массовой долей жира в сухом веществе 55 %				
0 (фон)	$2,4 \cdot 10^3$	0,001	Не обнаружены	19
15	$3,7 \cdot 10^3$	0,01	3	21
30	$5,1 \cdot 10^3$	0,01	5	24
45	$8,8 \cdot 10^3$	0,01	9	33
Сыр с массовой долей жира в сухом веществе 60 %				
0 (фон)	$2,2 \cdot 10^3$	0,001	Не обнаружены	Не обнаружены
15	$3,5 \cdot 10^3$	0,001	Не обнаружены	11
30	$4,1 \cdot 10^3$	0,01	4	18
45	$7,0 \cdot 10^3$	0,01	11	25

Установлено, что активная кислотность плавленого сыра «Сырте» в процессе хранения практически не изменилась (таблица 23). По всей видимости, этот эффект связан с известным по литературным данным (глава 1) антиоксидантным действием коллагена и лецитина в составе сыра.

Динамика органолептических показателей плавленого сыра «Сырте» в процессе хранения представлена в таблице 24. Плавленый пастообразный сыр «Сырте» имеет высокие органолептические показатели и на протяжении всего периода хранения максимально их сохраняет.

Таблица 23 – Динамика активной кислотности плавленого пастообразного сыра «Сырте» в процессе хранения

Продолжительность хранения, сут	Плавленый сыр с массовой долей жира в сухом веществе, %			
	55		60	
	Норма по НД	pH	Норма по НД	pH
0 (фон)	Не более 6,5	6,0 ± 0,3	Не более 5,8	5,4 ± 0,2
15		6,0 ± 0,2		5,4 ± 0,3
30		5,9 ± 0,2		5,2 ± 0,2
45		5,9 ± 0,3		5,3 ± 0,3

Таблица 24 – Органолептические показатели качества плавленого сыра «Сырте»

Продолжительность хранения, сут	Органолептическая оценка, балл					Общая оценка, балл
	Вкус и запах	Консистенция	Цвет	Вид на срезе	Внешний вид	
Сыр с массовой долей жира в сухом веществе 55 %						
0 (фон)	14,5	8,2	2,0	2,0	2,0	28,7
15	14,5	8,2	2,0	2,0	2,0	28,7
30	14,5	8,2	2,0	2,0	2,0	28,7
45	12,0	8,0	2,0	2,0	2,0	26,0
Сыр с массовой долей жира в сухом веществе 60 %						
0 (фон)	14,8	8,5	2,0	2,0	2,0	29,3
15	14,8	8,5	2,0	2,0	2,0	29,3
30	14,5	8,4	2,0	2,0	2,0	28,9
45	13,2	8,1	2,0	2,0	2,0	27,3

Общая балльная оценка сыра «Сырте» в течение 45 сут хранения снизилась на 9,4 % (образец с массовой долей жира в сухом веществе 55 %) и на 6,8 % (образец с массовой долей жира в сухом веществе 60 %). По истечении 45 сут хранения в образцах не было обнаружено порочащих признаков органолептических показателей.

Таким образом, по органолептическим характеристикам и динамике активной кислотности рекомендуемый срок годности плавленого пастообразного сыра «Сырте» мог бы превысить 30 сут, но лимитирующими стали недостаточно высокие микробиологические показатели на длительных сроках хранения. Зерновое

сырье (отруби пшеничные) имеет относительно высокую фоновую общую обсемененность, поэтому при необходимости увеличить срок годности плавленого сыра из его рецептуры необходимо исключить отруби, оставив коллаген и лецитин и провести дополнительные исследования, либо ввести в рецептуру консерванты (сорбиновая кислота, низин и т. д.).

При соблюдении режима хранения (температура от 4 °С до 8 °С, относительная влажность воздуха не более 85 %) срок годности плавленого пастообразного сыра «Сырте» составляет 30 сут в потребительской упаковке (полимерные стаканчики).

Установлены регламентируемые показатели качества плавленого пастообразного сыра «Сырте» (таблица 25).

Таблица 25 – Регламентируемые показатели плавленого пастообразного сыра «Сырте»

Показатель	Характеристика	
	Массовая доля жира в сухом веществе 55 %	Массовая доля жира в сухом веществе 60 %
Вид на разрезе (срезах)	Рисунок отсутствует, допускается видимое наличие частиц отрубей, допускается наличие не более трех воздушных пустот и нерасплавившихся частиц молочного сырья размером не более 2 мм на площади 10 см ²	
Цвет	От белого до интенсивно-желтого	
Вкус и запах	Сырный, кисломолочный	Сырный, сливочный, пресноватый. Допускается слегка острый
Консистенция	Нежная, пластичная. Однородная по всей массе	Нежная, кремообразная. Однородная по всей массе
Активная кислотность, ед. рН, не более	6,5	5,8
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	1·10 ⁴	
Дрожжи, КОЕ/г, не более	100	
Плесени, КОЕ/г, не более	100	
Масса продукта, г, в которой не допускаются: – БГКП (колиформы) – патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	0,1 25	

Продолжение таблицы 25

Показатель	Характеристика	
	Массовая доля жира в сухом веществе 55 %	Массовая доля жира в сухом веществе 60 %
Массовая доля влаги, %, не более	54,0	52,0
Массовая доля белка, %, не менее	16,0	15,0
Массовая доля жира, %, не менее	26,0	30,0
Массовая доля гидроксипролина, %, не менее	0,20	0,18
Массовая доля пищевой соли, %	0,2–4,0	
Температура при выпуске с предприятия, °С	6 ± 2	

На плавленый пастообразный сыр «Сырте» с ГК, лецитином, пшеничными отрубями разработан и утвержден комплект нормативно-технологической документации – СТО 02067824-006-2023 и Технологическая инструкция к СТО (приложение Д). Выработанный по предлагаемой технологии плавленый сыр продегустирован и получил положительную оценку (приложение Е). Акт о промышленной апробации технологии плавленого пастообразного сыра «Сырте», выработке пробной партии и внедрении в производство приведен в приложении И. Опытно-промышленная апробация разработанных технологических решений в условиях сыродельного предприятия ООО «Сибирское подворье» подтвердила их практическую значимость (приложение И).

Внесение наполнителей (ГК, лецитин, отруби) сопровождается снижением в рецептуре массы сычужного полутвердого сыра, что позволяет сэкономить около 7 % дорогостоящего молочного сырья. Срок годности нового сыра «Сырте» – типичный для плавленых сыров, не требует дополнительных инвестиций в упаковку и логистику.

Заключение по главе 4

Получена регрессионная модель, где x_1 – дозировка гидролизованного коллагена, %; x_2 – дозировка лецитина подсолнечника, %; x_3 – дозировка пшеничных отрубей, %; Y – органолептическая оценка плавленого пастообразного сыра. Рекомендованные диапазоны внесения наполнителей в состав плавленого сыра: $x_1 \in [3,0 \%; 3,5 \%]$, $x_2 \in [2,5 \%; 3,0 \%]$, $x_3 \in [1,0 \%; 1,5 \%]$. Согласно модели наиболее существенное влияние на отклик оказывает гидролизированный коллаген.

Установлено, что гидроксипролин – маркерный компонент гидролизованного коллагена, содержащийся в нем в большом количестве (8400 мг/100 г). Включение ГК в состав плавленого пастообразного сыра приводит к уплотнению белковой матрицы и стабилизации жировой эмульсии за счет полимерно-коллоидных взаимодействий между коллагеновыми пептидами и казеином, что проявляется в уменьшении размера жировых глобул на 44 %, отсутствии их коалесценции, снижении на 20 % пористости беловой матрицы и повышении однородности распределения водной фазы. ГК обеспечивает формирование гибридной казеин-коллагеновой матрицы с повышенной прочностью поперечных связей, коллоидную стабилизацию жировой эмульсии через механизмы DLVO и стерического отталкивания, а также через контроль активности воды. Внесение ГК способствует улучшению реологических свойств плавленых сыров: вязкие свойства преобладают над упругими, сыр остается пластичным. Рост вязкости способствует улучшению удержания формы при нагреве.

ГК является многофункциональным ингредиентом, перспективным для использования в сыродельной отрасли. Включение ГК в рецептуру сыра позволяет обогатить его специфическими аминокислотами (гидроксипролин, пролин, глицин), что может позиционироваться как преимущество для целевых групп – лиц с повышенной потребностью в синтезе соединительной ткани (травмы, старение, спорт высших достижений, генетические дефекты в синтезе коллагена, синдром

Элерса – Данлоса). В нишевых продуктах, таких как «beauty cheese», «сыры для спортсменов», потенциал плавленых сыров с ГК может быть раскрыт полностью.

Гидролизированный коллаген рекомендован к использованию в составе плавленых сыров, требующих высокой адгезии и пластичности: пастообразные сыры, сыры для соусов. Его использование не рекомендовано в сырах, где важна высокая структурная прочность (ломтевые сыры, в том числе колбасный сыр).

На плавленый пастообразный сыр «Сырте» с гидролизированным коллагеном, лецитином и отрубями разработан и утвержден комплект нормативно-технологической документации (СТО 02067824-006-2023 и Технологическая инструкция). Изучены показатели нового сыра, обоснован режим хранения и срок годности, установлены регламентируемые показатели качества. Апробация разработанных технологических решений в условиях сыродельного предприятия ООО «Сибирское подворье» (г. Барнаул) подтвердила их практическую значимость.

Заключение

С использованием разработанной информационной системы «Рецептуры плавленых сыров» и нейросетевой модели «Пищевые системы» научно обоснована возможность прогнозирования органолептических свойств плавленых пастообразных сыров при проектировании их рецептур. С помощью валидированных цифровых инструментов разработан плавленый пастообразный сыр, содержащий гидролизованный коллаген, лецитин подсолнечника и пшеничные отруби. Проведена промышленная апробация и внедрение отдельных результатов диссертационной работы, показаны преимущества нейросетевых технологий в повышении эффективности работы с рецептурами пищевых систем.

Итоги диссертационного исследования представлены в следующих выводах.

1. По результатам аналитического обзора установлено, что среди имеющихся в Российской Федерации цифровых инструментов для сыроделия большинство ориентированы на образовательные цели, а специализированное программное обеспечение для технологического проектирования отсутствует. Нейросетевые технологии в мировом сыроделии применяются ограниченно, для решения точечных локальных задач. Перспективным подходом является создание комплексных цифровых решений для предиктивной аналитики на основе информационной системы (база данных рецептур и программа управления), используемой также в качестве набора данных для обучения нейронных сетей.

2. Разработана информационная система «Рецептуры плавленых сыров», включающая открытую для редактирования базу данных (869 рецептур) и программу управления ею. ИС позволяет автоматизировать выбор рецептур по различным критериям и их сочетаниям (пищевая ценность, состав, вид сыра), осуществлять интеллектуальную замену ингредиентов на основе химического состава. Логическая и физическая модели базы данных позволяют адаптировать ИС к рецептурам любых пищевых систем.

3. Разработана, обучена и валидирована нейросеть «Пищевые системы» (архитектура: 8-64-64-1, функция активации ReLu, оптимизатор Adam). Установлены параметры машинного обучения, обеспечивающие достоверность прогноза не ниже 80 %: объем обучающей выборки – не менее 200 рецептов, количество батчей – 10, итераций – 10 % от исходного набора данных, циклов обучения – не менее 40. Доказана стабильность модели обучения (выход *MAE* на плато после 40-го цикла обучения и на протяжении 5 000 эпох). На модельной линейке из 14 образцов плавленых пастообразных сыров (за пределами обучающей выборки) с наполнителями из разных групп сырья проведена валидация нейросетевой модели: достоверность прогноза составила 86–97 %, средняя теоретическая ошибка – 7,18 %, средняя фактическая ошибка – 5,30 %.

4. На основе предиктивной аналитики нейросети «Пищевые системы» выбрана и оптимизирована рецептура плавленого пастообразного сыра с гидролизованным коллагеном, лецитином подсолнечника и пшеничными отрубями. Методами математического моделирования (полный трехфакторный эксперимент) получена регрессионная модель, описывающая влияние дозировок наполнителей на органолептическую оценку, установлено приоритетное влияние коллагена. Определены оптимальные диапазоны внесения: гидролизованный коллаген – 3,0–3,5 %, лецитин подсолнечника – 2,5–3,0 %, пшеничные отруби – 1,0–1,5 %.

5. Проведено комплексное исследование свойств плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизованным коллагеном, лецитином подсолнечника и пшеничными отрубями. Установлено, что внесение коллагена обогащает аминокислотный профиль (появление гидроксипролина, увеличение глицина на 128,6 %, гистидина на 24,3 %, аланина на 19,6 %, пролина на 18,4 %), улучшает микроструктуру (уменьшение среднего размера жировых глобул на 44 %, снижение пористости на 20 %), повышает реологические характеристики (увеличение вязкости на 40 %, сопротивления деформации на 48 % при сохранении пластичности). Определены регламентируемые показатели качества, обоснован срок годности (30 сут при температуре 4–8 °С). Разработан и утвержден комплект нормативной документации (СТО 02067824-006-2023, Технологическая инструкция). Предложенные ре-

шения апробированы и внедрены в производство на ООО «Сибирское подворье» (г. Барнаул).

Практические рекомендации

1. ГК рекомендован к использованию в составе плавленых сыров, причем коллаген целесообразно использовать в продуктах, требующих высокой адгезии и пластичности: пастообразные сыры, сыры для соусов. Применение коллагена не рекомендовано в сырах, где важна высокая структурная прочность: ломтевые сыры, в том числе колбасный сыр. Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшей оптимизации текстуры плавленых пастообразных сыров.

2. Добавление ГК приводит к значительному уменьшению и выравниванию размеров жировых глобул, что позволяет прогнозировать улучшение текстуры и стабильности плавленого сыра. Мелкие жировые глобулы обеспечивают гладкость и однородность текстуры, что особенно важно для пастообразных сыров. Кроме того, внесение ГК способствует преобладанию вязких свойств над упругими, сыр остается пластичным, что также хорошо для пастообразных продуктов. Увеличение вязкости способствует улучшению удержания формы при нагреве, что является положительным эффектом для горячих блюд с сыром. Сыр с меньшими жировыми глобулами лучше плавится и распределяется и рекомендован к использованию в составе горячих блюд и соусов, предусматривающих нагревание.

3. Включение ГК в рецептуру позволяет обогатить сыры специфическими аминокислотами: гидроксипролин, пролин, глицин, что может позиционироваться как преимущество для целевых групп с повышенной потребностью в синтезе соединительной ткани (травмы, старение, спорт высших достижений, генетические дефекты в синтезе коллагена, синдром Элерса – Данлоса и др.). В нишевых продуктах, таких как «beauty cheese», «сыры для спортсменов», потенциал плавленых сыров с коллагеном может быть раскрыт полностью.

4. Разработанный цифровой инструментарий позволяет эффективно применять современные технологии для сбора, обработки, анализа открытой для редактирования БД «Рецептуры плавленых сыров», прогнозировать с помощью

нейросети «Пищевые системы» интегральный ожидаемый показатель качества рецептуры на начальных этапах жизненного цикла продукта. Рекомендовано масштабировать применение цифрового инструментария в реальном секторе экономики, что позволит прогнозировать качество новых рецептов плавленых сыров перед опытной выработкой и до запуска в производство, тем самым ускорив разработку и внедрение инноваций.

Список сокращений и условных обозначений

БД – база данных.

ГК – гидролизированный коллаген.

ИС – информационная система.

КМАФАНМ – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов.

КОЕ/см³ (г) – колониеобразующая единица в 1 см³ (г) продукта.

МУ, МУК – методические указания (ведомственные нормативные документы).

НД – нормативная документация.

ПВ – пищевые волокна.

ПО – программное обеспечение.

РИД – результат интеллектуальной деятельности.

СТО – стандарт организации.

ТИ – технологическая инструкция.

ТУ – технические условия.

ФПП – функциональные продукты питания.

MAE (mean absolute error) – средняя абсолютная ошибка.

Список литературы

1. Азолкина, Л.Н. Исследование и разработка технологии новых видов плавленых сыров с использованием растительного сырья : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.18.04 / Азолкина Любовь Николаевна. – Кемерово, 2007. – 16 с.
2. Акимова, Н.А. Инновационные пути совершенствования индустрии питания / Н.А. Акимова, М.В. Мухина, Д.И. Шишкина // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 2. – С. 16–17.
3. Алексеев, А.А. Коллаген и хроническая лимфовенозная недостаточность / А.А. Алексеева, Н.В. Заворотинская. – Москва ; Пенза : Гидриатика, 2011. – 86 с.
4. Алексеева, А.А. Пищевая аллергия к глютену. Современная диетотерапия / А.А. Алексеева, Л.С. Намазова-Баранова, С.Г. Макарова [и др.] // Вопросы современной педиатрии. – 2014. – Т. 13, № 5. – С. 71–75.
5. Алефиренко, Е.А. Оценка качества и безопасности плавленых сыров в магазине «Магнит» / Е.А. Алефиренко, В.В. Крючкова, В.Э. Никитчук // Инновационные технологии пищевых производств : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (пос. Персиановский, 10 февраля 2017 г.). – пос. Персиановский : ДонГАУ, 2017. – С. 107–111.
6. Алиев, А.С. Клиническая фармакология лецитина / А.С. Алиев, А.К. Гусейнов, Ю.С. Струговщик [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11-3. – С. 129–130.
7. Алтайулы, С. Получение пищевых лецитинов из сафлоровых масел / С. Алтайулы, И.Ж. Темирова // Механика и технологии. – 2018. – № 1 (59). – С. 65–67.
8. Анализ рынка плавленых сыров в России в 2018–2022 гг., прогноз на 2023–2027 гг. в условиях санкций. Структура розничной торговли / BusinessStat. – URL: <https://businessstat.ru/catalog/id11490/> (дата обращения 20.05.2023).
9. Ананьева, А.В. Влияние семян пажитника и пшеничных отрубей на пищевую ценность рубленых котлет из мяса птицы / А.В. Ананьева, А.Г. Нечепо-

рук, Е.Н. Третьякова // Наука и образование. – 2021. – Т. 4, № 2. – URL: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/download/3306/3299/> (дата обращения: 22.06.2025).

10. Анисимова, О.С. Структурно-функциональные особенности коллагена, его значение в медицинской практике и использование в косметической и пищевой промышленности / О.С. Анисимова, В.А. Дергачева // Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 19 ноября 2021 г.). – Волгоград : Сфера, 2021. – С. 27–33.

11. Анискина, М.В. Функциональное питание и перспективы его развития / М.В. Анискина, А.Д. Завьялова, Т.В. Калюжная // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.4 (27). – С. 28–29.

12. Антипова, Л.В. Перспектива применения рыбного коллагена в производстве пищевых продуктов / Л.В. Антипова, М.А. Пискова // Актуальная биотехнология. – 2018. – № 3 (26). – С. 535.

13. Антипова, Л.В. Применение коллагена в пищевых и медицинских производствах / Л.В. Антипова, Р.Д. Каракотов, Т.И. Романюк // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение : сб. науч. ст. и докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 15–17 декабря 2022 г.). – Воронеж : ВГУИТ, 2023. – С. 227–229.

14. Антипова, Л.В. Создание коллагеновых продуктов из рыбного сырья / Л.В. Антипова, С.А. Сторублевцев, С.Б. Болгова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – № 1. – С. 130–133.

15. Апсалямов, Ю.Н. Лецитины кукурузных масел – ценное сырье для производства фракционированных продуктов питания / Ю.Н. Апсалямов, Е.П. Корненина, Е.А. Бутина [и др.] // Новые технологии. – 2010. – № 3. – С. 17–19.

16. Артемьева, Н.К. Лецитины в создании продуктов функционального назначения и опыт их применения в питании спортсменов / Н.К. Артемьева, Н.Н. Белина // Материалы научной и научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. – 2015. – № 1. – С. 83–84.

17. Бабич, О.О. Разработка технологической схемы производства и рецептур функциональных продуктов питания для питания онкологических больных / О.О. Бабич, С.А. Сухих, С.Ю. Гармашов, А.В. Изгарышев // Актуальные вопросы науки. – 2016. – № 24. – С. 165–168.

18. База данных «Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации» / ФИЦ питания и биотехнологии. – URL: http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx (дата обращения: 03.09.2025).

19. Бакланова, В.В. Маркетинговые исследования рынка плавленого сыра города Магнитогорска / В.В. Бакланова, Д.В. Безшейко, И.А. Долматова // Наука молодых – будущее России : сб. науч. ст. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 11–12 декабря 2018 г.) : в 6 т. – Курск : Университетская книга, 2018. – Т. 5. – С. 126–129.

20. Бекетова, Н.А. Влияние пшеничных отрубей на обеспеченность организма витаминами (эксперимент на крысах) / Н.А. Бекетова, В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская [и др.] // Вопросы питания. – 2011. – Т. 80, № 6. – С. 35–42.

21. Березкина, Г.Ю. Использование растительных компонентов в производстве молочной продукции и их влияние на биотехнологические процессы и качество готовой продукции / Г.Ю. Березкина, Т.Г. Корепанова // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых ученых-исследователей : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 24–27 октября 2017 г.). – Ижевск : ИжГСХА, 2017. – С. 264–267.

22. Березов, Т.Т. Биологическая химия / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин. – 3-е изд. – Москва : Медицина, 1998. – 704 с. – ISBN 5-225-02709-1.

23. Бессонов, В.В. Базы данных химического состава пищевых продуктов в эпоху цифровой нутрициологии / В.В. Бессонов, М.Н. Богачук, Д.О. Боков [и др.] // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 211–219.

24. Бессчетнов, В.П. Облепиха, шиповник, черноплодная рябина / В.П. Бессчетнов, Г.П. Никитина, Ю.В. Жуков. – Алма-Ата : Кайнар, 1989. – 240 с. – ISBN 5-620-00102-4.

25. Биологическая химия / Е.С. Северин, Т.Л. Алейникова, Е.В. Осипов, С.А. Силпева. – Москва : Медицинское информационное агентство, 2008. – 364 с. – ISBN 5-9231-0390-7.

26. Биохимия / под ред. Е.С. Северина. – Москва : ГЭОТАР-МЕД, 2004. – 784 с. – isbn.

27. Бобынцев, И.И. Перспективы использования продуктов питания, обогащенных нутриентами цианобактерий, в функциональном питании для профилактики метаболического синдрома / И.И. Бобынцев, О.В. Евдокимова, Н.И. Косолапова, А.М. Рыков // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Орел, 21–22 ноября 2019 г.). – Орел : ОГУ, 2019. – С. 178–182.

28. Богданова, Н.С. Исследование и разработка технологии плавленого сырного продукта со злаковым компонентом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Богданова Наталия Сергеевна. – Барнаул, 2016. – 22 с.

29. Богданова, Н.С. Продукты переработки злаковых культур в производстве плавленых сыров / Н.С. Богданова, Л.Н. Азолкина, М.П. Щетинин // Современные проблемы здорового питания. Инновации и традиции : сб. ст. и докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 11–12 ноября 2016 г.). – Барнаул : АлтГТУ, 2014. – С. 55–58.

30. Бойцова, Ю.С. Нормативно правовое обеспечение рынка функциональных продуктов питания в Соединенных Штатах Америки / Ю.С. Бойцова, Е.А. Янова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 2. – С. 33–38.

31. Болгова, С.Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 / Болгова Светлана Борисовна. – Воронеж, 2015. – 20 с.

32. Болкунов, П.С. Новое мороженое с биологически активным комплексом *Spirulina platensis* / П.С. Болкунов, А.В. Мамаев, Н.Д. Родина // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 8-10. – С. 73.

33. Болотова, А.А. Совершенствование технологии кисломолочных напитков для функционального питания / А.А. Болотова, В.С. Синдрявкина, И.А. Нури-ахметова, Н.З. Дубкова // Инновации в индустрии питания и сервисе : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 25 октября 2018 г.). – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 234–237.

34. Борисова, А.В. Технология мягкого сыра с повышенным содержанием пищевых волокон / А.В. Борисова, Ю.М. Елисеев, Н.М. Тузова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 2–3 (374–375). – С. 26–29.

35. Боровков, М.Ф. Ветеринарно-санитарная экспертиза с основами технологии и стандартизации продуктов животноводства / М.Ф. Боровков, В.П. Фролов, С.А. Серко ; под ред. М. Ф. Боровкова. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-0733-0.

36. Бочкарева, З.А. Влияние пшеничных отрубей и ксантовой камеди на функционально-технологические свойства мясных изделий / З.А. Бочкарева, О.Н. Пчелинцева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8, № 4 (48). – С. 137–141.

37. Бочкарева, З.А. Разработка технологий функциональных пищевых продуктов из рубленого мяса с продуктами переработки зерна : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Бочкарева Зенфира Альбертовна. – Москва, 2006. – 204 с.

38. Бурыкина, В.В. Использование стевии, как сахарозаменителя в технологии плавленых сыров / В.В. Бурыкина, Н.Д. Родина, Е.Ю. Сергеева, Ж.В. Ушакова // Передовые научно-технические проекты в биотехнологии : материалы I Нац. науч.-практ. конф. (Орел, 19 мая 2022 г.). – Орел : ОГАУ, 2022. – С. 30–37.

39. Бутина, Е.А. Исследование технологически функциональных свойств подсолнечных фракционированных лецитинов / Е.А. Бутина, Е.О. Герасименко, Д.Ю. Кашкара [и др.] // Новые технологии. – 2010. – № 3. – С. 22–25.

40. Валеева, Р.Т. Высокотемпературный гидролиз пшеничных отрубей серной кислотой / Р.Т. Валеева, А.С. Понкратов, О.В. Красильникова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 3. – С. 150–152.

41. Ванштейн, С.Г. Пищевые волокна в профилактической и лечебной медицине / С.Г. Ванштейн, А.М. Масик. – Москва : Медицина, 1985. – 54 с.
42. Вольнова, Е.Р. Различные способы получения лецитина из продуктов растительного и животного сырья / Е.Р. Вольнова, А.С. Козырева, А.Е. Ляшенко // Молодой ученый. – 2021. – № 17 (369). – С. 28–32.
43. Воробьев, В.И. Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб / В.И. Воробьев, О.П. Чернега // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2023. – № 68. – С. 71–79.
44. Воробьев, В.И. Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи / В.И. Воробьев, Е.В. Нижникова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2021. – № 62. – С. 80–91.
45. Ганина, В.И. Бифидобактерии и лактобактерии – компоненты продуктов персонализированного питания / В.И. Ганина, А.Н. Пахомова // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2019 г.). – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. – Т. 2. – С. 143–146.
46. Гарань, Д.Н. Функциональное питание как путь оптимизации рационов питания студентов / Д.Н. Гарань // Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (пос. Персиановский, 7–8 февраля 2019 г.). – пос. Персиановский : ДонГАУ, 2019. – С. 27–34.
47. Гартованная, Е.А. Разработка рецептуры плавленых сырных продуктов с использованием растительного сырья / Е.А. Гартованная, Н.В. Ковтун // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. науч. тр., вып. 15. – Благовещенск : ДальГАУ, 2016. – С. 19–22.
48. Гарькина, П.К. Пшеничные отруби в производстве мучных кондитерских изделий / П.К. Гарькина, С.В. Лисина // Инновационная техника и технология. – 2021. – Т. 8, № 3. – С. 5–11.

49. Герасименко, Е.О. Совершенствование технологии переработки растительных лецитинов / Е.О. Герасименко, Н.Н. Белина, В.Н. Пащенко [и др.] // Масложировая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 20–24.

50. Герилович, Е.В. Функциональные продукты питания / Е.В. Герилович, А.А. Черненко // Пищевые инновации в биотехнологии : сб. тез. VI Междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, 16 мая 2018). – Кемерово : КемГУ, 2018. – Т. 2. – С. 31–33.

51. Гобозова, Л.Б. Сравнительная ветеринарно-санитарная оценка плавленых сыров / Л.Б. Гобозова // Студенческая наука – агропромышленному комплексу : науч. тр. студентов Горского государственного аграрного университета, т. 54 (ч. 1). – Владикавказ : Горский ГАУ, 2017. – С. 180–182.

52. Горькова, И.В. Биотехнологические основы производства БАД к пище, их безопасность и функциональный стиль питания / И.В. Горькова, Н.Е. Павловская // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (59). – С. 77–83.

53. ГОСТ 32052-2013. Добавки пищевые. Лецитины E322. Общие технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 31 с.

54. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2006-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 17 с.

55. Гринева, В.Д. Молочный напиток геродиетического назначения / В.Д. Гринева, А.А. Короткова // Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 17–18 июня 2021 г.). – Волгоград : Сфера, 2021. – С. 163–167.

56. Гумарова, А.К. Использование растительного сырья в производстве плавленых сыров / А.К. Гумарова, А.Б. Абуова, Ф.Х. Суханбердина, З.М. Айтмуханова // Инновационные технологии производства пищевых продуктов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 2 ноября 2016 г.). – Саратов : Центр социальных агроинноваций СГАУ, 2016. – С. 51–53.

57. Гусева, Н.Л. Факторный анализ себестоимости молока / Н.Л. Гусева, А.Д. Дроздова // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : материалы Международ. науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г.). – Нижний Новгород : НГАТУ, 2019. – С. 37–39.

58. Давыденко, В.А. Исследование и разработка технологии плавленых сырных продуктов с использованием овощного сырья : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Давыденко Вероника Анатольевна. – Кемерово, 2011. – 18 с.

59. Димитриев, А.Д. Современные проблемы роли общественного питания в решении вопросов функционального питания населения / А.Д. Димитриев, М.Г. Андреева // Россия – 2035: наука и практика в фокусе инновационного развития : сб. материалов Международ. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 30 января 2020 г.). – Чебоксары : Рос. ун-т кооперации, 2020. – С. 187–190.

60. Дроздов, Р.А. Функциональные свойства пищевых волокон, полученных из продуктов глубокой переработки овощного сырья / Р.А. Дроздов, М.А. Кожухова, И.А. Хрипко, А.В. Шкуро // Инновации в науке и практике : сб. ст. XIV Международ. науч.-практ. конф. (Барнаул, 18 февраля 2019 г.). – Уфа : Дендра, 2019. – С. 136–142.

61. Евдокимов, Н.С. Обогащение плавленых сыров растительными ингредиентами, улучшающими работу желудочно-кишечного тракта / Н.С. Евдокимов, Т.Н. Иванова, О.В. Евдокимова // Высокоэффективные научно-технологические разработки в области производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции (в рамках реализации программы «Приоритет – 2030») : сб. науч. тр. по материалам III Международ. науч.-практ. конф. – Махачкала : ДагГАУ, 2024. – С. 132–138.

62. Евдокимов, Н.С. Формирование и оценка потребительских свойств сыра плавленого функционального назначения : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Евдокимов Никита Сергеевич. – Орел, 2021. – 195 с.

63. Жукова, Т.В. Возможный механизм участия механического напряжения стенок сосудов в возрастном развитии склероза / Т.В. Жукова, Ю.Г. Кот, Е.Э. Пер-

ский // Вестник Харьковского национально университета имени В.Н. Каразина. – 2006. – № 729. – С. 21–24.

64. Закурдаева, А.А. Технология плавленого сыра с функциональными свойствами на основе растительных биологически активных добавок / А.А. Закурдаева, А.Л. Алексеев, С.Р. Сагнитаева, А.О. Карташян // Проблемы и тенденции инновационного развития агропромышленного комплекса и аграрного образования России : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (пос. Персиановский, 7–10 февраля 2012 г.). – пос. Персиановский : ДонГАУ, 2012. – Т. III. – С. 25–27.

65. Захарова, И.Н. Кишечная микробиота и применение пробиотиков с позиции доказательной медицины / И.Н. Захарова, Ю.А. Дмитриева // Педиатрия. Приложение к журналу Consilium Medicum. – 2016. – № 4. – С. 24–28.

66. Звягинцева, В.В. Перспективы использования пищевых волокон в технологии продуктов специального назначения / В.В. Звягинцева, Л.Г. Влащик // Вестник научно-технологического творчества молодежи Кубанского ГАУ : сб. ст. по материалам науч.-исслед. работ (Краснодар, 22–25 марта 2017 г.) : в 4 т. – Краснодар : КубГАУ. – Т. 2. – С. 47–49.

67. Зиннурова, Л.А. Проект создания биопротекторного напитка «Башкирочка» и исследование его свойств / Л.А. Зиннурова, И.А. Горина // Студент и аграрная наука : материалы XVI Всерос. студенч. науч. конф. (Уфа, 1–2 марта 2022 г.). – Уфа : БГАУ, 2022. – С. 71–74.

68. Зобкова, З.С. Молочные продукты с витаминами / З.С. Зобкова // Молочная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 28–30.

69. Ивкова, И.А. Разработка и исследование специализированных молочных продуктов здорового питания по показателям качества и функциональной направленности / И.А. Ивкова, И.Г. Четвергова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (46). – С. 100–106.

70. Игорянова, Н.А. Ингредиенты с пищевыми волокнами из вторичных продуктов переработки зерна со свойствами стабилизаторов пищевых систем / Н.А. Игорянова, Е.П. Мелешкина, А.В. Яцких // Хлебопродукты. – 2018. – № 5. – С. 42–44.

71. Изотов, В.В. Использование ягодно-овощных соков в технологии молочного пудинга / В.В. Изотов, Е.Ю. Сергеева, Н.Д. Родина [и др.] // Современные тенденции развития науки и производства : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, 21–22 января 2016 г.). – Кемерово : Зап.-Сиб. науч. центр, 2016. – С. 167–169.

72. Илларионова, В.В. Химический состав, пищевая ценность и физиологическая активность подсолнечных лецитинов олеинового типа / В.В. Илларионова // Новые технологии. – 2010. – № 1. – С. 38–41.

73. Инвестиционные проекты инвестиционного портала Алтайского края // Инвестиционный портал Алтайского края. – URL: <https://invest.alregn.ru/investoram-n/investitsionnye-proekty-i-predlozheniya/investitsionnye-proekty/> (дата обращения: 20.06.2021).

74. Ипатова, Л.Г. Научное обоснование и практические аспекты применения пищевых волокон при разработке функциональных пищевых продуктов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.15 / Ипатова Лариса Григорьевна. – Москва, 2011. – 50 с.

75. Исаев, Е.А. Оценка пищевой и энергетической ценности кексов с применением пшеничных отрубей / Е.А. Исаев, Е.В. Панина, А.А. Колобаева, И.А. Сорокина // Молодежный вектор развития аграрной науки : материалы 72-й Нац. науч.-практ. конф. – Воронеж : ВГАУ, 2021. – Ч. II. – С. 150–155.

76. Кажымурат, А.Т. Перспективы применения коллагена в пищевой промышленности / А.Т. Кажымурат, Р.У. Уажанова, Н.Н. Ахметсадыков [и др.] // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков : сб. материалов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 13 января – 22 февраля 2017 г.). – Новосибирск : Центр развития научного сотрудничества, 2017. – С. 7–14.

77. Казаков, Е.Д. Пшеничные диетические отруби, их производство, место в питании / Е.Д. Казаков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1997. – № 4–5 (239–240). – С. 9–11.

78. Кайкова, А.С. Гидролизированный коллаген – аналог пищевых волокон животного происхождения / А.С. Кайкова, Л.В. Антипова, С.А. Сторублевцев // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 118–119.

79. Калинин, С.К. Изучение свойств и применения пищевых добавок на примере соевого лецитина / С.К. Калинин, А.Э. Рукавишникова, А.В. Яровая // Актуальные проблемы экономического развития государств – членов ЕАЭС : сб. науч. ст. по материалам всерос. науч.-практ. конф. (Москва, 23–24 ноября 2021 г.). – Москва : Перо, 2022. – С. 147–155.

80. Карамиева, Э.А. Разработка технологии производства сухого затяжного печенья с пшеничными отрубями / Э.А. Карамиева, В.Н. Огнев // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 3 (24). – С. 56–60.

81. Караханян, М.Г. Применение ячменного сусла в технологии приготовления плавленого сыра / М.Г. Караханян // Актуальные вопросы зоотехнической науки и практики как основа улучшения продуктивных качеств и здоровья сельскохозяйственных животных : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 22–24 октября 2003 г.). – Ставрополь : АГРУС, 2003. – С. 239–243.

82. Кененбаев, С.Б. Научное обеспечение производства пищевых продуктов в АПК Казахстана: состояние и перспективы развития / С.Б. Кененбаев // Инновационные технологии продуктов здорового питания, их качество и безопасность : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Алматы : Алматинский технический университет, 2010. – С. 23–25.

83. Кийкова, А.С. Гидролизированный коллаген – аналог пищевых волокон животного происхождения / А.С. Кийкова, Л.В. Антипова, С.А. Сторублевцев // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 118–119.

84. Кипрушкина, Е.И. Основные технологии производства и хранения растительной продукции / Е.И. Кипрушкина // Низкотемпературные и пищевые технологии в XX веке : материалы V Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 6–7 июня 2001 г.). – Санкт-Петербург : СПбГУНиПТ, 2011. – С. 350–353.

85. Климова, Е.А. Современный ассортимент лецитинов как пищевых добавок / Е.А. Климова // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2006. – № 4. – С. 1240.

86. Коновалов, К.Н. Растительные пищевые композиты для производства комбинированных продуктов / К.Л. Коновалов, М.Т. Шулбаева // Пищевая промышленность. – 2008. – № 7. – С. 8–10.

87. Корнен, Н.Н. Применение растительных фосфолипидов (лецитинов) в производстве хлебобулочных изделий / Н.Н. Корнен, Т.В. Першакова, Е.В. Лисовая // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 116. – С. 288–300.

88. Корнен, Н.Н. Сравнительная оценка эффективности антиоксидантного действия рапсовых и подсолнечных лецитинов в опытах на лабораторных животных / Н.Н. Корнен, С.А. Калманович, М.П. Семененко, Е.В. Кузьминова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2017. – № 5 (46). – С. 9–14.

89. Корниенко, Т.С. Дисперсные системы и структурообразование / Т.С. Корниенко, Е.А. Загорулько, Ю.Н. Сорокина. – Воронеж : ВГТА, 2009. – 100 с. – ISBN 978-5-89448-708-3.

90. Кострыкина, С.А. Основные проблемы и направления развития отечественной пищевой промышленности / С.А. Кострыкина // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 11 апреля 2018 г.) : в 2 ч. – Благовещенск : ДальГАУ, 2018. – Ч. 1. – С. 165–169.

91. Костылева, Е.В. Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья / Е.В. Костылева, А.С. Серeda, И.А. Великорецкая [и др.] // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 1. – С. 116–132.

92. Котвицкая, Д.В. Продукты функционального питания и их роль в питании человека / Д.В. Котвицкая, М.В. Анискина, Д.В. Горобец // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки : материалы Нац.

науч.-практ. конф. молодых ученых (Ижевск, 4–5 декабря 2019 г.): в 3 т. – Ижевск : ИжГСХА, 2020. – Т. II. – С. 95–98.

93. Кочеткова, А.А. Современная теория позитивного питания и функциональные продукты / А.А. Кочеткова, А.Ю. Колеснов, В.И. Тужилкин, И.Н. Нестерова // Пищевая промышленность. – 1999. – № 4. – С. 7–10.

94. Красильников, В.Н. Современный ассортимент лецитинов как пищевых добавок / В.Н. Красильников, Е.Б. Федорова, Ю.А. Тимошенко // Пищевая промышленность. – 2005. – № 5. – С. 24–27.

95. Красуля, О.Н. Проектирование рецептур и технологий производства молочных продуктов в условиях реального времени / О.Н. Красуля, А.В. Токарев, В.И. Карпов // Переработка молока. – 2025. – № 1 (303). – С. 12–15.

96. Красуля, О.Н. Цифровая платформа для проектирования рецептур, автоматизации процессов и контроля качества производства мясопродуктов / О.Н. Красуля, А.В. Токарев, В.И. Карпов // Мясной ряд. – 2025. – № 1 (99). – С. 54–55.

97. Кулькова, В.С. Химия белков. Значение в организме человека и животных / В.С. Кулькова // Молодой исследователь: возможности и перспективы : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 18–20 мая 2022 г.). – Ставрополь : Секвойя, 2022. – С. 192–195.

98. Лисовая, Е.В. Анализ ассортимента лецитинов, представленных на российском рынке / Е.В. Лисовая, Е.П. Викторова, В.В. Лисовой // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 2. – С. 51–55.

99. Лисовая, Е.В. Сравнительная оценка качества пищевых добавок – жидких лецитинов / Е.В. Лисовая, Е.В. Великанова, Л.А. Марченко // Наука, питание и здоровье : сб. науч. тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 2 октября 2020 г.). – Минск : Белорусская наука, 2020. – С. 290–293.

100. Лобода, А.В. Разработка оптимальной рецептуры пищевой БАД «Сквален-Лецитин» / А.В. Лобода, С.Н. Никонович, Т.И. Тимофеенко // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2010. – № 4 (316). – С. 53–55.

101. Ломакин, А. Стевия – натуральный заменитель сахара для диетического питания / А. Ломакин // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 19–20 мая 2017 г.). – Ставрополь : Секвойя, 2017. – С. 154–157.

102. Lupinская, С.М. Разработка технологии сладких пастообразных плавленых сыров с использованием дикорастущего сырья / С.М. Lupinская // Актуальные вопросы современной науки: теоретические и практические аспекты : сб. тез. нац. конф. (Новокузнецк, 5–6 декабря 2018 г.). – Новокузнецк : Новокузнецкий филиал КемГУ, 2018. – С. 129–130.

103. Lupinская, С.М. Разработка технологии сладких пастообразных плавленых сыров с использованием дикорастущего сырья / С.М. Lupinская // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность : сб. материалов Нац. (Всерос.) конф. (Кемерово, 25–27 мая 2020 г.). – Кемерово : КемГУ, 2020. – С. 33–34.

104. Лысиков, Ю.А. Аминокислоты в питании человека / Ю.А. Лысиков // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2012. – № 2. – С. 88–105.

105. Майоров, А.А. Новая серия лабораторного оборудования – новые возможности для фундаментальных и прикладных исследований / А.А. Майоров, О.Н. Мусина // Сыроделие и маслоделие. – 2016. – № 4. – С. 22–25.

106. Майоров, А.А. Новые наукоемкие приемы оценки реологических свойств в сыроделии: изучение процессов свертывания молока и формирования структуры сгустка / А.А. Майоров, Ю.А. Сиденко, О.Н. Мусина // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – № 2 (45). – С. 55–61.

107. Максимюк, В.А. Творожный продукт, обогащенный пшеничными отрубями / В.А. Максимюк, Е.И. Решетник // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. науч. тр., вып. 12 – Благовещенск : ДальГАУ, 2012. – С. 42–46.

108. Макушин, А.Н. Влияние пшеничных отрубей на органолептические характеристики мучных кондитерских изделий типа тарталеток / А.Н. Макушин,

Т.Н. Макушина, В.Н. Сысоев // Теория и практика современной аграрной науки : сб. IV Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием (Новосибирск, 26 февраля 2021 г.). – Новосибирск : Золотой колос, 2021. – С. 781–786.

109. Макушин, А.Н. Экономическая эффективность применения пшеничных отрубей при производстве мучных кондитерских изделий типа тарталеток / А.Н. Макушин, В.Н. Сысоев // Современная экономика: обеспечение продовольственной безопасности : сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. (Самара, 4–5 марта 2020 г.). – Кинель : СГАУ, 2021. – С. 95–100.

110. Макушина, Т.Н. Применение пшеничных отрубей при производстве мучных кондитерских изделий / Т.Н. Макушина, А.Н. Макушин // Биотехнологические приемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Курск, 8 февраля 2021 г.). – Курск : КГСХА, 2021. – Ч. 2. – С. 136–142.

111. Малахова, Т.Н. Функциональные продукты питания и их значение в питании / Т.Н. Малахова // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. – 2016. – № 15. – С. 51–59.

112. Малахова, Т.Н. Функциональные продукты питания и их значение в питании / Т.Н. Малахова // Человеческий потенциал в XXI веке: образование, культура, патриотизм и традиции качества, здоровый социум и инновационная экономика : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Димитровград, 9 апреля 2018 г.). – Димитровград : Publishing House Science and Innovation Center, 2018. – С. 61–65.

113. Менх, Л.В. Научные и практические основы производства плавленых сыров с зерновыми добавками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Менх Лидия Владимировна. – Кемерово, 1996. – 15 с.

114. Менялкина, А.С. Разработка рецептуры сырка творожного глазированного, обогащенного пищевыми волокнами / А.С. Менялкина, Д.А. Скачков, Е.А. Возняк // Перспективные аграрные и пищевые инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 6–7 июня 2019 г.). – Волгоград : Сфера, 2019. – С. 100–103.

115. Мерцалова, С.Л. Основные тенденции функционального питания в современном мире / С.Л. Мерцалова, И.О. Мерцалов // Научные записки Орловского государственного университета экономики и торговли. – 2021. – № 1 (37). – С. 65–68.

116. Миретин, А.В. Сравнительная оценка качества плавленых пастообразных сыров, реализуемых предприятиями розничной торговли / А.В. Миретин, К.Р. Гинойн, Н.В. Миронова, Р.В. Гинойн // Сельские территории – основа развития страны: современное состояние, проблемы и перспективы : материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Нижний Новгород, 28–29 апреля 2021 г.). – Нижний Новгород : НГАТУ, 2022. – С. 179–183.

117. Молибога, Е.А. Разработка плавленого сыра для функционального питания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Молибога Елена Александровна. – Омск, 2008. – 20 с.

118. Морозова, Е.Е. Разработка сухой смеси для кексов с добавлением экстракта пшеничных отрубей / Е.Е. Морозова, Н.М. Дерканосова // Инновационные технологии и технические средства АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 11–12 ноября 2021 г.). – Воронеж : ВГАУ, 2021. – С. 324–329.

119. Мусина, О.Н. Мягкий сыр, обогащенный растительным сырьем Алтая – жимолостью и смородиной / О.Н. Мусина, Н.И. Бондаренко, Д.А. Усатюк // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 3. – С. 28–29.

120. Мусина, О.Н. Поликомпонентные продукты на основе комбинирования молочного и зернового сырья / О.Н. Мусина, М.П. Щетинин. – Барнаул : АлтГТУ, 2010. – 244 с. – ISBN 978-5-7904-1028-4.

121. Мусульманова, М.М. Комбинированные молочно-растительные продукты / М.М. Мусульманова // Молочная промышленность. – 2006. – № 5. – С. 72–73.

122. Мякиньюков, А.Г. Пшеничные отруби: их качество и использование [в питании человека] / А.Г. Мякиньюков // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 1999. – № 1. – С. 62.

123. Наговская, В.О. Применение пшеничных отрубей как «функционального ингредиента» в технологии кефира / В.О. Наговская, Ю.Р. Гачак, О.Р. Ми-

хайлицкая, Н.Б. Сливка // Научный вестник Львовского национального университета ветеринарной медицины и биотехнологий имени С.З. Гжицкого. – 2017. – Т. 19, № 80. – С. 52–56.

124. Неклюдов, А.Д. Коллаген: получение, свойства и применение / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин. – Москва : МГУЛ, 2007. – 346 с. – ISBN 5-8135-0376-5.

125. Нестерин, М.Ф. Химический состав пищевых продуктов / М.Ф. Нестерин. – Москва : Пищевая промышленность, 1979. – 238 с.

126. Нечаев, А.П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траунберг, А.А. Кочеткова. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. – 592 с. – ISBN 5-901065-71-9.

127. Никитина, М.А. Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Никитина Марина Александровна. – Москва, 2021. – 265 с.

128. О безопасности пищевой продукции : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011.

129. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : Указ Президента РФ от 28.02.2024 № 145.

130. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : указ Президента России от 21.01.2020 № 20.

131. Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания : приказ Министерства здравоохранения РФ от 19.08.2016 № 614.

132. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности ОК 034-2014 (КПЕС 2008) : утвержден приказом Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст.

133. Оконенко, Т.И. Физиологические механизмы заменимых протеиногенных аминокислот и их значение для неврологии / Т.И. Оконенко, К.Ю. Картышева, Г.А. Антропова, А.П. Новикова // Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. – 2022. – № 4 (129). – С. 61–65.

134. Отт, Е.Ф. Новый сыр для здорового питания – сыр «Пладоленс» с пробиотической микрофлорой / Е.Ф. Отт, О.Н. Мусина // Переработка молока. – 2018. – № 5 (223). – С. 20–23.

135. Официальный сайт единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2023).

136. Панкина, И.А. Перспективные направления использования нетрадиционного растительного сырья для создания функциональных пищевых продуктов / И.А. Панкина, Л.М. Борисова // Инновационные технологии в производстве функциональных продуктов питания : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. (Мичуринск, 16–18 декабря 2014 г.). – Мичуринск : БИС, 2014. – С. 149–151.

137. Паньковский, Г.А. Комплексные пищевые добавки с лецитином для хлебопечения / Г.А. Паньковский // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2004. – № 4. – С. 1233.

138. Пащенко, В.Н. Разработка инновационной технологии получения жидких лецитинов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.06 / Пащенко Вячеслав Николаевич. – Краснодар, 2013. – 25 с.

139. Пензина, О.В. Исследование и разработка технологии творожного биопродукта с пшеничными отрубями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Пензина Ольга Валерьевна. – Омск, 2014. – 20 с.

140. Перский, Е.Э. О возрастных изменениях физико-химических свойств коллагеновых волокон / Е.Э. Перский, Л.А. Утевская // Онтогенез. – 1971. – Т. 2, № 2. – С. 188–192.

141. Петренко, А.В. Основные направления создания продуктов питания функционального назначения / А.В. Петренко, В.В. Илларионова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 4 (370). – С. 17–19.

142. Петрова, Л.А. Показатели качества и безопасности плавленых сыров в период хранения / Л.А. Петрова // Вестник Орловского государственного университета экономики и торговли. – 2013. – № 1. – С. 148–153.

143. Петрова, М. Сыр и здоровое питание / М. Петрова // Переработка молока. – 2013. – № 8 (166). – С. 34–35.

144. Пилипенко, Д.Н. Исследование технологий использования пищевых волокон при производстве творога зерненого / Д.Н. Пилипенко, Т.П. Погорелец, Н.С. Гайворонская // Перспективные аграрные и пищевые инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 6–7 июня 2019 г.). – Волгоград : Сфера, 2019. – С. 269–276.

145. Пищевые волокна / М.С. Дудкин, Н.К. Черно, И.С. Казанская [и др.]. – Киев : Урожай, 1988. – 150 с.

146. Платонова, М.А. Перспективы использования растительных пребиотиков в биотехнологии комбинированных молочных продуктов / М.А. Платонова // Сборник материалов международных научно-практических конференций (Москва, 15–30 ноября 2018 г.). – Москва : Большая книга, 2018. – С. 163–170.

147. Погорелова, Н.А. Конверсия пшеничных отрубей в целевые продукты биосинтеза / Н.А. Погорелова, Н.Б. Гаврилова // Техника и технология пищевых производств. – 2023. – Т. 53, № 1. – С. 49–59.

148. Погорелова, Н.А. Определение эффективности способов конверсии пшеничных отрубей для использования их в технологии продуктов питания / Н.А. Погорелова, Н.Б. Гаврилова, Е.А. Рогачев, Е.М. Щетинина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 48–57.

149. Поддержка сельского хозяйства // Инвестиционный портал Алтайского края. – URL: <https://invest.alregn.ru/investoram/mery-podderzhki/podderzhka-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 20.05.2023).

150. Пономарева, В.Е. Использование пшеничных отрубей при производстве полуфабрикатов из мяса цыплят-бройлеров / В.Е. Пономарева // Инновационные технологии: приоритетные направления развития : материалы Междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Белгород : БУКЭП, 2011. – С. 156–158.

151. Посиделова, А.В. Лецитин в технологии молочных продуктов / А.В. Посиделова, О.Н. Потынг, Е.Ю. Сергеева [и др.] // Научные исследования – сельско-

хозяйственному производству : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Орел, 25 апреля 2018 г.). – Орел : ПФ Картуш, 2018. – С. 381–385.

152. Потехина, Ю.П. Структура и функции коллагена / Ю.П. Потехина // Российский остеопатический журнал. – 2016. – № 1–2 (32–33). – С. 87–99.

153. Программы для ЭВМ, БД и ТИМС / Федеральный институт промышленной собственности. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 02.10.2022).

154. Производство напитков, молока и молочной продукции : информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 45-2017. – Москва : Бюро НДТ, 2017. – 190 с.

155. Прянишников, В.В. Использование гидролизованных лецитинов в производстве хлебобулочных изделий, обогащенных пищевыми волокнами / В.В. Прянишников, М.А. Козичева, Н.Н. Толкунова // Хлебопродукты. – 2017. – № 1. – С. 58–59.

156. Ражина, Е.В. Функциональное питание и его место в структуре современного питания / Е.В. Ражина // Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса России : сб. тез., подготовленный в рамках круглого стола (Екатеринбург, 15 ноября 2022 г.). – Екатеринбург : УрГАУ, 2022. – Т. 2. – С. 277–278.

157. Ребиндер, П.А. Исследование структурообразования в гелях желатина / П.А. Ребиндер // Избранные труды, т. 2. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – Москва : Наука, 1979. – С. 112–115.

158. Родина, Н.Д. Разработка технологии плавленых сыров с использованием биологически активных компонентов нетрадиционного растительного сырья / Н.Д. Родина, А.В. Мамаев, Е.Ю. Сергеева // Химическая кинетика и цепные реакции: теория и практика : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Орел, 27 ноября 2020 г.). – Орел : ПФ Картуш, 2020. – С. 102–108.

159. Романов, А.С. Применение пищевых волокон при производстве плавленых сыров / А.С. Романов, Л.М. Захарова, Т.В. Котова, А.А. Ильина // Образование и наука: проблемы и перспективы : материалы науч.-практ. конф. – Юрга, 2000. – С. 51.

160. Рыков, Д.В. Исследование особенностей питания жителей различных групп, проживающих на юге России / Д.В. Рыков, В.В. Илларионова // Новые технологии. – 2012. – № 2. – С. 47–50.

161. Садовой, В.В. Разработка научных принципов проектирования состава и совершенствования технологии многокомпонентных мясных изделий с использованием вторичных ресурсов пищевой промышленности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Садовой Владимир Всеволодович. – Ставрополь, 2007. – 38 с.

162. Сайфитова, А.Т. Особенности яиц и яичных продуктов / А.Т. Сайфитова, С.А. Высотин // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 2. – URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18189> (дата обращения: 22.06.2025).

163. Сафронова, Д.А. Анализ плавленых сыров в г. Ставрополь / Д.А. Сафронова, Т.А. Барсуковская, Е.П. Мирзаянова // Прорывные научные исследования как двигатель науки : сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. – Стерлитамак : Агентство международных исследований, 2017. – Ч. 2. – С. 200–204.

164. Семипятный, В.К. Принципы мета-аналитической декомпозиции при формировании цифровых идентификационных профилей пищевых систем : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.04 / Семипятный Владислав Константинович. – Москва, 2021. – 47 с.

165. Скрыбин, В.А. Влияние тонкоизмельченных пшеничных отрубей на хлебопекарные свойства сортовой пшеничной муки / В.А. Скрыбин, В.П. Сухарева // Хлебопродукты. – 2020. – № 2. – С. 38–42.

166. Скрыбин, В.А. Пшеничные отруби как обогатитель пищевыми волокнами хлебных продуктов и их влияние на здоровье / В.А. Скрыбин, И.А. Сабоиев // Научное обеспечение технологического развития и повышения конкурентоспособности в пищевой и перерабатывающей промышленности : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 27 ноября 2020 г.). – Краснодар : Кубанский филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2020. – С. 27–34.

167. Смольникова, Ф.Х. Исследование состава облепихи для производства плавленого сыра / Ф.Х. Смольникова, Ж.Х. Тохтаров, С.М. Тохтарова // Между-

народная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2014. – № 1. – С. 199–200.

168. Соколов, А.Ю. Разработка мясных полуфабрикатов с пшеничными волокнами для индустрии питания / А.Ю. Соколов, Д.И. Шишкина, В.А. Пчелкина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4 (40). – С. 172–178.

169. Сторублевцев, С.А. Обогащенные коллагеном пищевые продукты / С.А. Сторублевцев, Е.Н. Перова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 116.

170. Технология производства натуральных и плавленых сыров / Ал.Т. Кокоева, Т.А. Кадиева, А.Т. Кокоева, Ф.Т. Маргиева. – Владикавказ : Горский ГАУ, 2020. – 112 с.

171. Титов, Е.И. Особенности получения белкового продукта из коллагенсодержащих субпродуктов / Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Л.Ф. Митасева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 12. – С. 71–77.

172. Ткаченко, М.Н. Обоснование применения пшеничных отрубей в производстве ржано-пшеничного хлеба / М.Н. Ткаченко // Приоритетные направления регионального развития АПК : сб. ст. по материалам IV Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. – Курган : КГСХА, 2022. – С. 301–306.

173. Третьякова, Е.Н. Новый вид мягкого сыра для здорового питания / Е.Н. Третьякова, О.А. Григорьева // Наука и образование. – 2019. – Т. 2, № 2. – URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/issue/view/11> (дата обращения: 21.06.2025).

174. Тупольских, Т.И. Сравнительная характеристика технологических свойств соевого и подсолнечного лецитинов, как пищевой добавки E322 / Т.И. Тупольских, В.А. Сердюк, Т.А. Мальцева [и др.] // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2020») : сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (с. Дивноморское, 19–30 августа 2020 г.). – Ростов-на-Дону : ДГТУ-Принт, 2020. – С. 417–420.

175. Турчин, І.М. Використання молочної сироватки при виробництві десертів = Использование молочной сыворотки при производстве десерта / І.М. Турчин

чин, Х. Гамкало, А. Войчишин // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. – 2017. – Т. 19, № 80. – С. 165–168.

176. Тырина, А.В. Клетчатка конопляная как обогащающий продукт / А.В. Тырина, Е.В. Фролова // Конкурентоспособность территорий : материалы XXI Всерос. экон. форума молодых ученых и студентов (Екатеринбург, 23–27 апреля 2018 г.) : в 8 ч. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2018. – Ч. 6. – С. 98–100.

177. Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай : [сайт]. – URL: <https://akstat.gks.ru> (дата обращения: 20.05.2023).

178. Ускова, Д.Г. Формирование и оценка качества йогуртов с использованием фукоидана и ультразвуковой микронизации : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Ускова Дарья Геннадьевна. – Екатеринбург, 2019. – 24 с.

179. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 20.05.2023).

180. Федеральная таможенная служба : [сайт]. – URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (дата обращения: 20.05.2023).

181. Фоменко, О.С. Разработка технологии изделий из мяса кур с пшеничными отрубями / О.С. Фоменко, Н.М. Птичкина // Мясная индустрия. – 2010. – № 10. – С. 10–12.

182. Храмцов, А.Г. Использование методики нейронных сетей в пищевой биотехнологии / А.Г. Храмцов, В.В. Садовой, В.А. Самылина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2004. – № 5–6 (282–283). – С. 105–108.

183. Хусаенова, Л.В. Продукты профилактического питания, обогащенные органической формой йода / Л.В. Хусаенова // Перспективы развития науки в современном мире : сб. тр. по материалам XII Всерос. конкурса науч.-исслед. работ (Уфа, 20 февраля 2023 г.) : в 2 ч. – Уфа : Вестник науки, 2023. – Ч. 1. – С. 117–123.

184. Цисарык, О. Скрининг технологических свойств природных штаммов молочнокислых бактерий / О. Цисарык, И. Сливка, Л. Мусий // Науковий вісник

Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2017. – Т. 19, № 80. – С. 88–92.

185. Цифровая нутрициология: применение информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов / В.А. Тутельян, О.Н. Мусина, М.Г. Балыхин [и др.]. – Москва ; Барнаул : Азбука, 2020. – 378 с. – ISBN 978-5-93957-969-8.

186. Шаповалова, О.А. 300 блюд из сыра / О.А. Шаповалова. – Москва : Мир книги, 2009. – 240 с. – ISBN 978-5-486-02808-3.

187. Швед, А.В. Новая кормовая добавка «Лецитин С» в рационах телят А.В. Швед // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2022. – № 4 (47). – С. 23–27.

188. Шендеров, Б.А. Микробная экология человека и ее роль в поддержании здоровья. Метаморфозы / Б.А. Шендеров // Вестник восстановительной медицины. – 2014. – № 5. – С. 72–80.

189. Шестакова, Е.А. Разработка поточной технологии очистки и получения пищевых подсолнечных фосфолипидов / Е.А. Шестакова, Д.С. Распопов, Е.И. Верболоз // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – Т. 81, № 1 (79). – С. 125–131.

190. Шехтер, А.Б. Заживление ран как ауторегуляторный процесс и механизм стимулирующего действия коллагена / А.Б. Шехтер, А.В. Николаев, Г.Н. Берченко // Архив патологии. – 1977. – № 5. – С. 25–33.

191. Шишкина, Е.И. Использование ячменного солода в ферментированных молочных продуктах / Е.И. Шишкина // Modern science. – 2019. – № 4-1. – С. 397–401.

192. Шленская, Т.В. Экструдат пшеничных отрубей в производстве кексов / Т.В. Шленская, Н.М. Шленская, З.А. Бочкарева, В.П. Радченко // Кондитерское производство. – 2009. – № 6. – С. 10–11.

193. Шульга, Л.В. Новый вид плавленого сыра для расширения ассортимента молочной продукции / Л.В. Шульга, Н.А. Перченко // Модернизация аграрного образования: интеграция науки и практики : сб. науч. тр. по материалам IV Меж-

дунар. науч.-практ. конф. (Томск, 5 декабря 2018 г.). – Томск : Золотой колос, 2018. – С. 156–160.

194. Якубова, М.Н. Мировой рынок коллагеновых добавок: масштабы и тенденции / М.Н. Якубова // Актуальные вопросы современной экономической науки : материалы XII Междунар. науч. конф. (Астрахань, 22 апреля 2022 г.). – Астрахань : АГУ, 2022. – С. 130–134.

195. Яшкин, А.И. Использование транsgлютаминазы в технологии мягкого сыра с пшеничными отрубями / А.И. Яшкин // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф. (р.п. Краснообск, 24 марта 2021 г.). – Новосибирск : СФНЦА РАН, 2021. – С. 363–367.

196. All The Cheese | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/jenlooper/cheese> (дата обращения: 20.06.2025).

197. Baumann, L. Skin ageing and its treatment / L. Baumann // Journal of pathology. – 2007. – Vol. 211, № 2. – P. 241–251.

198. Begum, M. Nutritional profiling of selected fish's scales: an approach to determine its prospective use as a biomaterial / M. Begum, M.Z.U.A.M. Mun, M.A. Satter // International journal of fisheries and aquatic studies. – 2021. – Vol. 9, № 3. – P. 26–31.

199. Bhatia, R. Production of oligosaccharides and biofuels from Miscanthus using combinatorial steam explosion and ionic liquid pretreatment / R. Bhatia, J.B. Lad, M. Bosch [et al.] // Bioresource technology. – 2021. – Vol. 323. – Article 124625.

200. Bilyk, O. Substantiation of the method of protein extraction from sheep and cow whey for producing the cheese 'Urda' / O. Bilyk, N. Slyvka, B. Gutyj [et al.] // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – Vol. 3, № 11. – P. 18–22.

201. Bishop, J.E. Increased collagen synthesis and decreased collagen degradation in right ventricular by pressure overload / J.E. Bishop // Cardiovascular research. – 1994. – Vol. 28. – P. 1501–1505.

202. Blum, H.E. The human microbiome / H.E. Blum // *Advance in medical sciences.* – 2017. – Vol. 62. – P. 414–420.

203. Cai, H. Construction of a dynamic model to predict the growth of *Staphylococcus aureus* and the formation of enterotoxins during Kazak cheese maturation / H. Cai, S. Pei, Y. Zhang [et al.] // *Food microbiology.* – 2023. – Vol. 112. – Article 104234.

204. Canadian Nutrient File. – URL: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/healthy-eating/nutrient-data/canadian-nutrient-file-about-us.html> (дата обращения: 03.09.2025).

205. Cheese Pics | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/mathurinache/cheese-pics> (дата обращения: 20.06.2025).

206. Cisneros, D.A. Observing growth steps of collagen self-assembly by time-lapse high-resolution atomic force microscopy / D.A. Cisneros, C. Hung, M. Franz, D.J. Muller // *Journal of structural biology.* – 2006. – Vol. 54. – P. 232–245.

207. Coda, R. Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions / R. Coda, C.G. Rizzello, J.A. Curiel [et al.] // *Innovative food science and emerging technologies.* – 2014. – Vol. 25. – P. 19–27.

208. Data from: Development of processed low-sodium Maasdam cheese. – URL: https://figshare.com/articles/dataset/Development_of_processed_low-sodium_Maasdam_cheese/21835308 (дата обращения: 20.06.2025).

209. Delcour, J.A. Technologies for enhanced exploitation of the health-promoting potential of cereals / J.A. Delcour, X. Rouaub [et al.] // *Trends in food science and technology.* – 2012. – Vol. 25. – P. 78–86.

210. Ebrahimpour, M. Artificial neural network modelling for cream cheese fermentation pH prediction at lab and industrial scales / M. Ebrahimpour, W. Yu, B. Young // *Food and bioproducts processing.* – 2021. – Vol. 126. – P. 81–89.

211. Espinosa Sandoval, L.A. Application of artificial neural networks (ANN) for predicting the effect of processing on the digestibility of foods / L.A. Espinosa Sandoval, A.M. Polanía Rivera, L. Castañeda Florez, A. García Figueroa // *Food structure en-*

gineering and design for improved nutrition, health and well-being / eds. M.A.P. Ribeiro Cerqueira [et al.]. – New York : Academic Press, 2023. – P. 333–361.

212. Esposito, F. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products / F. Esposito, G. Arlotti, A.M. Bonifati [et al.] // Food research international. – 2005. – Vol. 38. – P. 1167–1173.

213. EuroFIR: European Food Information Resource. – URL: <https://www.eurofir.org> (дата обращения: 03.09.2025).

214. Find open datasets and machine learning projects | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets> (дата обращения: 20.06.2025).

215. Food composition / Quadram Institute. – URL: <https://quadram.ac.uk/targets/food-composition/> (дата обращения: 03.09.2025).

216. French Cheese Detection | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/mathurinache/french-cheese-detection> (дата обращения: 20.06.2025).

217. Frølich, W. Whole grains foods and health – a Scandinavian perspective / W. Frølich, P. Aman, I. Tetens // Food nutrition and research. – 2013. – Vol. 57. – P. 57–62.

218. Gelse, K. Collagens – structure, function, and biosynthesis / K. Gelse, E. Pöschl, T. Aigner // Advanced drug delivery reviews. – 2003. – Vol. 55, № 12. – P. 1531–1546.

219. Gómez-Guillén, M.C. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review / M.C. Gómez-Guillén [et al.] // Food hydrocolloids. – 2011. – Vol. 25, № 8. – P. 1813–1827.

220. Google Dataset Search. – URL: <https://datasetsearch.research.google.com> (дата обращения: 20.06.2025).

221. Greene, D.M. Use of poultry collagen coating and antioxidants as flavor protection for cat foods made with rendered poultry fat : MSc thesis / D.M. Greene. – Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.

222. Guimarães, J.T. Impact of probiotics and prebiotics on food texture / J.T. Guimarães, C.F. Balthazar, R. Silva [et al.] // Current opinion in food science. – 2020. – Vol. 33. – P. 38–44.

223. Gulevsky, A.K. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application / A.K. Gulevsky, I.I. Shcheniavsky // *Biotechnology acta.* – 2020. – Vol. 13, № 5. – P. 42–61.

224. Gumarova, A. Functional processed cheese: development of new technology / A. Gumarova, T. Baybatyrov, A. Japarova // *Вестник Алматинского технологического университета.* – 2019. – № 2. – С. 39–43.

225. Guo, L. In vitro assessment of the multifunctional bioactive potential of Alaska pollock skin collagen following simulated gastrointestinal digestion / L. Guo [et al.] // *Journal of the science of food and agriculture.* – 2015. – Vol. 95, № 7. – P. 1514–1520.

226. Gutyj, B. The elaboration of cheese masses of therapeutic and prophylactic direction with cryoadditive “Pumpkin” / B. Gutyj, Y. Hachak, J. Vavrysevych, V. Nagovska // *EUREKA: Life Sciences.* – 2017. – № 1. – P. 19–26.

227. Ha, M. In-Depth characterization of sheep (*Ovis aries*) milk whey proteome and comparison with cow (*Bos taurus*) / M. Ha, M. Sabherwal, E. Duncan [et al.] // *PLoS One.* – 2015. – Vol. 10, № 10. – Article e0139774.

228. Hachak, Yu. Effect of the cryopowder «Amaranth» on the technology of meolten cheese / Yu. Hachak, B. Gutyj, O. Bilyk [et al.] // *Eastern-European journal of enterprise technologies.* – 2018. – Vol. 1, № 11. – P. 10–15.

229. Hays, N.P. Effects of whey and fortified collagen hydrolysate protein supplements on nitrogen balance and body composition in older women / N.P. Hays [et al.] // *Journal of the American dietetic association.* – 2009. – Vol. 109, № 6. – P. 1082–1087.

230. Hernández-Ramos, P.A. Estimation of somatic cell count levels of hard cheeses using physicochemical composition and artificial neural networks / P.A. Hernández-Ramos, A.M., Vivar-Quintana I. Revilla // *Journal of dairy science.* – 2019. – Vol. 102, № 2. – P. 1014–1024.

231. Hole, A.S. Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic *Lactobacillus acidophilus*,

Lactobacillus johnsonii, and *Lactobacillus reuteri* / A.S. Hole, I. Rud, S. Grimmer [et al.] // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2012. – Vol. 60. – P. 6369–6375.

232. Horiuchi, J. Artificial neural network model with a culture database for prediction of acidification step in cheese production / J. Horiuchi, T. Shimada, H. Funahashi [et al.] // *Journal of food engineering*. – 2004. – Vol. 63, № 4. – P. 459–465.

233. Hu, G. Isolation, purification and structure identification of a calcium-binding peptide from sheep bone protein hydrolysate / G. Hu, D. Wang, L. Sun [et al.] // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, № 17. – Article 2655.

234. Huang, Y. Applications of artificial neural networks (ANNs) in food science / Y. Huang, L.J. Kangas, B.A. Rasco // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2007. – Vol. 47, № 2. – P. 113–126.

235. INFOODS: Russia tables. – URL: <http://www.fao.org/infoods/infoods/tables-et-bases-de-donnees/russia/en/> (дата обращения: 03.09.2021).

236. Jimenez-Marquez, S.A. Impact of modeling parameters on the prediction of cheese moisture using neural networks / S.A. Jimenez-Marquez, C. Lacroix, J. Thibault // *Computers and chemical engineering*. – 2003. – Vol. 27, № 5. – P. 631–646.

237. Katina, K. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye / K. Katina, A. Laitila, R. Juvonen [et al.] // *Food microbiology*. – 2007. – Vol. 24. – P. 175–186.

238. Khamrokulov, G.H. Determination of fat mass rates in melted cheese 20-30 fat content / G.H. Khamrokulov, M.M. Turdialiyeva, A.A. Samatov // *Theoretical and applied science*. – 2021. – № 1 (93). – P. 151–156.

239. Kozak, M.V. Osoblyvosti vyrobnytstva sychuzhnykh i plavlenykh syriv ta yikh sanitarna otsinka: pos. 2-he vydannia, dopovnene / M.V. Kozak, Yu.R. Hachak, V.O. Nahovska. – Lviv, 2013. – 314 p.

240. Lebiezinska, A. Vitamin B in grain and cereal-grain food, soy-products and seeds / A. Lebiezinska, P. Szefer // *Food chemistry*. – 2016. – Vol. 95. – P. 116–122.

241. León-López, A. Characterization of whey-based fermented beverages supplemented with hydrolyzed collagen: antioxidant activity and bioavailability / A. León-

López, X.A. Pérez-Marroquín, G. Campos-Lozada [et al.] // *Foods*. – 2020. – Vol. 12, № 9 (8). – Article 1106.

242. León-López, A. Hydrolyzed collagen – sources and applications / A. León-López, A. Morales-Peñaloza, V.M. Martínez-Juárez [et al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, № 22. – Article 4031.

243. Leser, S. The 2013 FAO report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: Recommendations and implications / S. Leser // *Nutrition bulletin*. – 2013. – Vol. 38, № 4. – P. 421–428.

244. Lynch, S.V. The human intestinal microbiome in health and disease / S.V. Lynch, O. Pedersen // *The New England journal of medicine*. – 2016. – Vol. 375, № 24. – P. 2369–2379.

245. Mateo, A.N. Bioavailability of ferulic acid is determined by its bioaccessibility / A.N. Mateo, R. van den Berg, R. Havenaar [et al.] // *Journal of cereal science*. – 2009. – Vol. 49. – P. 296–300.

246. Mateo, A.N. Bioprocessing of wheat bran in whole wheat bread increases the bioavailability of phenolic acids in men and exerts anti-inflammatory effects ex-vivo / A.N. Mateo, A.M. Aura, E. Selinheimo [et al.] // *Journal of nutrition*. – 2011. – Vol. 141. – P. 137–143.

247. McDonald, B.H. Dairy nutrition: what we knew then to what we know now / B.H. McDonald // *International dairy journal*. – 2016. – Vol. 18. – P. 774–777.

248. Melo, L.R.B. Development of processed low-sodium Maasdam cheese December / L.R.B. Melo, F.R. Torres, J.T. Guimarães, M.A.S. Cortez // *Arquivo brasileiro de medicina veterinária e zootecnia*. – 2022. – Vol. 74, № 6. – P. 1072–1082.

249. Morsali, M. Choline chloride and amino acid solutions taste and hydration behavior with experimental thermodynamic properties and COSMO-PC-SAFT calculation / M. Morsali, B. Golmohammadi, H. Shekaari // *Science reports*. – 2024. – Vol. 14, № 1. – Article 20372.

250. Najafian, L. A review of fish-derived antioxidant and antimicrobial peptides: their production, assessment, and applications / L. Najafian, A.S. Babji // *Peptides*. – 2012. – Vol. 33, № 1. – P. 178–185.

251. Neklyudov, A.D. Nutritive fibers of animal origin: collagen and its fractions as essential components of new and useful food products / A.D. Neklyudov // *Applied biochemistry and microbiology*. – 2003. – Vol. 39, № 3. – P. 229–238.

252. Pakbin, B. Production of bovine collagen hydrolysate with antioxidant activity; optimized by response surface methodology / B. Pakbin, S. Allahyari, S.P. Dibazar [et al.] // *Scientia pharmaceutica*. – 2022. – Vol. 90, № 4. – Article 62.

253. Pal, G.K. Sustainable valorisation of seafood by-products: recovery of collagen and development of collagen-based novel functional food ingredients / G.K. Pal, P.V. Suresh // *Innovative food science and emerging technologies*. – 2016. – Vol. 37. – P. 201–215.

254. Patent 105533498 China. Seafood sausage rich in fish scale collagen protein and preparation method thereof : appl. 08.01.2016 : publ. 04.05.2016 / Li Tingting, Li Jianrong, Cui Fangchao [et al.].

255. Patent 107410776 China. Fresh ginger and fish scale beverage : appl. 29.03.2017 : publ. 01.12.2017 / C. Yulong.

256. Patent 107614520 China. Method for manufacturing fish scale processed goods : appl. 02.07.2015 : publ. 19.01.2018 / M. Yali, M. Hiroyuki, K. Kazuto.

257. Patent 108464415 China. Beverage containing fish scale collage : appl. 02.03.2018 : publ. 31.08.2018 / Hui Cheng-Yue, Zhou Shuhui.

258. Paul, C. Significant amounts of functional collagen peptides can be incorporated in the diet while maintaining indispensable amino acid balance / C. Paul, S. Leser, S. Oesser // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 5. – Article 1079.

259. Pei, X. Marine collagen peptide isolated from Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) skin facilitates learning and memory in aged C57BL/6J mice / X. Pei [et al.] // *Food chemistry*. – 2010. – Vol. 118, №. 2. – P. 333–340.

260. Pham, T.H. Effect of transglutaminase on quality properties of fresh cheese / T.H. Pham, K.C. Pham, A.T. Huynh // *International journal of advanced and applied sciences*. – 2021. – Vol. 8, № 4. – P. 44–53.

261. Pogorelova, N.A. Defining qualitative indicators of the pumpkin semi-finished product included in the confectionary technology in terms of competitiveness

/ N.A. Pogorelova, E.A. Moliboga // Journal of pharmaceutical sciences and research. – 2017. – Vol. 9, №10. – P. 1705–1710.

262. Pukivskyy, P. Use in plant materials technology cheese curd / P. Pukivskyy, V. Turchin, N. Slivka, A. Myhaylytska // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. – 2015. – Vol. 17, № 4. – P. 105–109.

263. Qi, L. A novel calcium-binding peptide from bovine bone collagen hydrolysate and chelation mechanism and calcium absorption activity of peptide-calcium chelate / L. Qi, H. Zhang, Y. Guo [et al.] // Food chemistry. – 2023. – Vol. 410. – Article 135387.

264. Rueden, C.T. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data / C.T. Rueden, J. Schindelin, M.C. Hiner [et al.] // BMC Bioinformatics. – 2017. – № 18. – Article 529.

265. Russel, D.A. Metabolic activities and probiotic potential of bifidobacteria / D.A. Russell, R.P. Ross, G.F. Fitzgerald, C. Stanton // International journal of food microbiology. – 2011. – Vol. 149. – P. 88–105.

266. Sadowska-Rociek, A. Assessment of nutrient content in selected dairy products for compliance with the nutrient content claims / A. Sadowska-Rociek, B. Mickowska, E. Cieślik // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. – 2013. – Vol. 2. – P. 1891–1897.

267. Sakandar, H.A. Trends in probiotic(s)-fermented milks and their in vivo functionality: a review / H.A. Sakandar, H. Zhang // Trends in food science and technology. – 2021. – Vol. 110. – P. 55–65.

268. Santana, R.C. Emulsifying properties of collagen fibers: effect of pH, protein concentration and homogenization pressure / R.C. Santana, F.A. Perrechil, A.C.K. Sato, R.L. Cunha // Food hydrocolloids. – 2011. – Vol. 25. – P. 604–612.

269. Savchenkova, L.V. Likarski roslyny yak dzherelo stvorennia novykh likarskykh zasobiv / L.V. Savchenkova, O.D. Nemiathyk, I.I. Ternynko. – Luhansk: SPD Rieznik V. S., 2012. – 64 p.

270. Savchenkova, L.V. Vyvchennia toksychnosti kriopodribnenoho poroshku aronii chornoplidnoi / L.V. Savchenkova, M.S. Akimova // Aspekty rozvytku far-

matsevtychnykh ta medychnykh doslidzhen na suchasnomu etapi: materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsiy z mizhnarodnoiu uchastiu. – Luhansk, 2014. – P. 105.

271. Schindelin, J. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin, I. Arganda-Carreras, E. Frise [et al.] // Nature methods. – 2012. – № 9. – P. 676–682.

272. Shishkina, D.I. The principles for the use of biologically active proteins in special types of nutrition / D.I. Shishkina, E.I. Shishkina // Modern science. – 2018. – № 6-1. – С. 27–30.

273. Shodiev, D. Biological properties of medicinal plant amaranth and its significance in the food industry / D. Shodiev, H. Qurbonov, G. Shodieva // Universum: технические науки. – 2023. – № 3 (108). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15190> (дата обращения: 21.06.2025).

274. Shoulders, M.D. Collagen structure and stability / M.D. Shoulders, R.T. Raines // Annual review of biochemistry. – 2009. – Vol. 78. – P. 929–958.

275. Shreiner, A.B. The gut microbiome in health and in disease / A.B. Shreiner, J.Y. Kao, V.B. Young // Current opinion in gastroenterology. – 2015. – Vol. 31. – P. 69–75.

276. Singh, A.K. Utilization of whey for the production of instant energy beverage by using response surface methodology / A.K. Singh, K. Singh // Advance journal of food science and technology. – 2012. – Vol. 4, № 2. – P. 103–111.

277. Soo, T. Vitagen collagen: a strategic innovation: industry report. Food and beverage Asia / T. Soo, M. Tan. – Malaysia Dairy Industries, 2009.

278. Soto-Barajas, M.C. Prediction of the type of milk and degree of ripening in cheeses by means of artificial neural networks with data concerning fatty acids and near infrared spectroscopy / M.C. Soto-Barajas, M.I. González-Martín, J. Salvador-Esteban [et al.] // Talanta. – 2013. – Vol. 116. – P. 50–55.

279. UCI Machine Learning Repository. – URL: <https://archive.ics.uci.edu/> (дата обращения: 20.06.2023).

280. USDA FoodData Central. – URL: <https://fdc.nal.usda.gov/ndb/search> (дата обращения: 03.09.2025).

281. Varani, J. Decreased collagen production in chronologically aged skin: roles of age-dependent alteration in fibroblast function and defective mechanical stimulation / J. Varani [et al.] // *The American journal of pathology*. – 2006. – Vol. 168, № 6. – P. 1861–1868.

282. Vásquez, N. Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles / N. Vásquez, C. Magán, J. Oblitas [et al.] // *Journal of food engineering*. – 2018. – Vol. 219. – P. 8–15.

283. Verkhivker, Ya.G. Development of technology of juice fruits collagen rich products / Ya. G. Verkhivker, E. A. Myroshnichenko, S.I. Pavlenko // *Food systems*. – 2021. – Vol. 4, № 2. – P. 106–110.

284. Vidal, A.R. Effects of enzymatic hydrolysis (Flavourzyme) assisted by ultrasound in the structural and functional properties of hydrolyzates from different bovine collagens / A.R. Vidal, T.E. Ferreira, R.D.O. Mello [et al.] // *Food science technology*. – 2018. – Vol. 38, suppl. 1. – P. 103–108.

285. Walrand, S. Consumption of a functional fermented milk containing collagen hydrolysate improves the concentration of collagen-specific amino acids in plasma / S. Walrand, E. Chiotelli, F. Noirt [et al.] // *Journal of agricultural food chemistry*. – 2008. – Vol. 56, № 17. – P. 7790–7795.

286. Wine Quality Dataset | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/yasserh/wine-quality-dataset> (дата обращения: 20.06.2025).

287. World Cheese Awards (World's Cheesiest Dataset) | Kaggle. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/ericisms/world-cheese-awards-worlds-cheesiest-dataset> (дата обращения: 20.06.2025).

288. Yacoubou, J. Nestlé Malaysia Collagen-Containing Nescafé Body Partner coffee discontinued / J. Yacoubou. – 2011. – URL: <https://www.vrg.org/blog/2011/12/15/nestle-malaysia-collagen-containing-nescafe-body-partner-coffee-discontinued-update/> (дата обращения: 20.06.2023).

289. Znamirowska, A. Probiotic fermented milk with collagen / A. Znamirowska, K. Szajnar, M. Pawlos // Dairy. – 2020. – № 1. – P. 126–134.

290. Zorrilla García, A.E. El envejecimiento y el estrés oxidativo / A.E. Zorrilla García // Revista cubana de investigaciones biomédicas. – 2002. – Vol. 21, №. 3. – P. 178–185.

Приложение А
(справочное)

Свидетельство на компоненты информационной системы «Рецептуры
плавленых сыров» и на программу для обучения нейросети

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2023620806

«Рецептуры плавленых сыров»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО АлтГТУ) (RU)*

Авторы: *Мусина Ольга Николаевна (RU), Нагорных Елена Михайловна (RU)*

Заявка № **2023620498**
Дата поступления **22 февраля 2023 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **06 марта 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Zubov

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023618007

**Программа для управления электронным
справочником рецептов плавяных сыров**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет
имени И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО АлтГТУ) (RU)**

Авторы: **Мусина Ольга Николаевна (RU), Назорных Елена
Михайловна (RU)**

Заявка № 2023616639

Дата поступления 04 апреля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 апреля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023684297

Программа для обучения нейросети «Пищевые системы»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО АлтГТУ) (RU)*

Авторы: *Мусина Ольга Николаевна (RU), Нагорных Елена Михайловна (RU)*

Заявка № 2023683285

Дата поступления 03 ноября 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 14 ноября 2023 г.



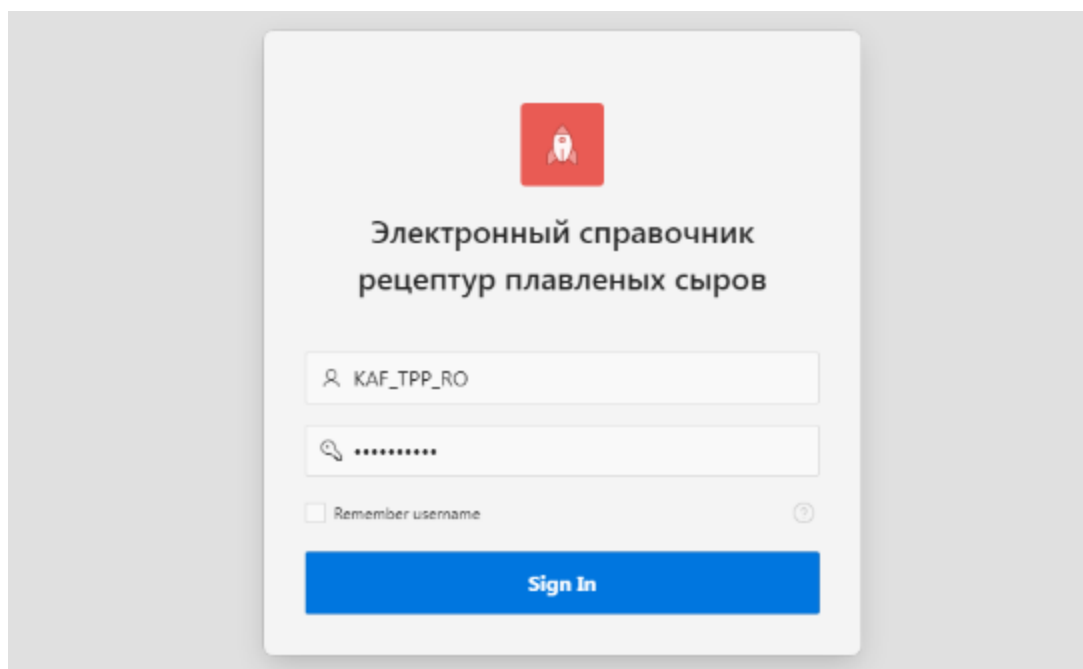
Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение Б (справочное)

Руководство пользователя информационной системы «Рецептуры плавленых сыров»

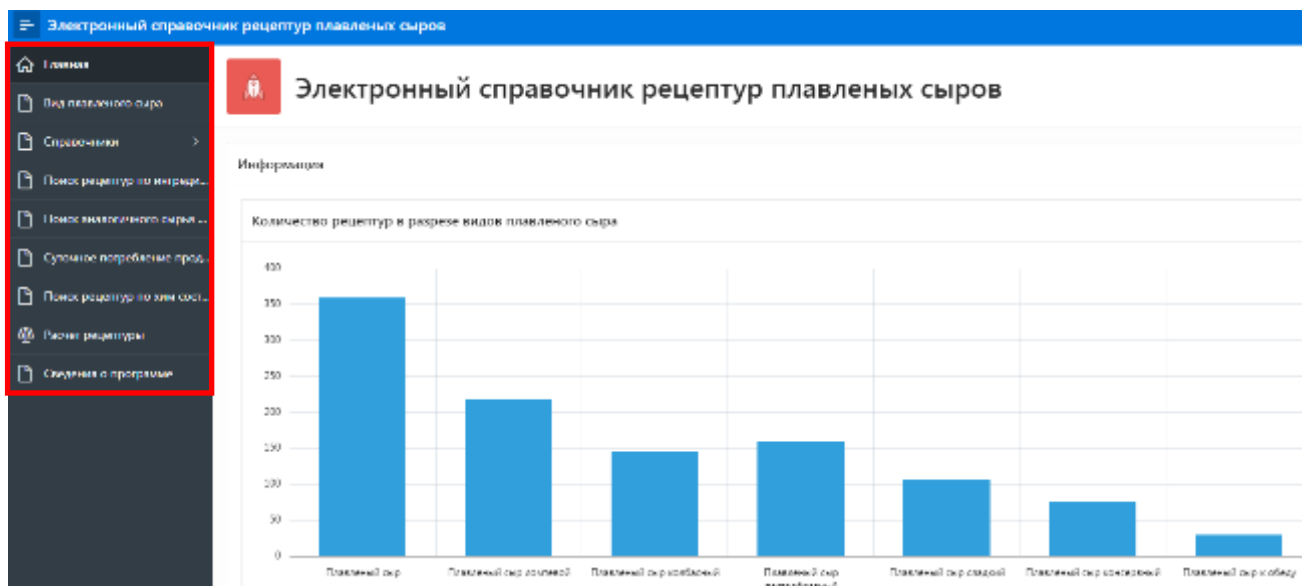
Для работы с базой данных электронного справочника рецептов плавленых сыров необходимо перейти по ссылке <http://apex.dev.astu:8080/apex/r/astu/recipe/> и ввести логин KAF_TPP_RO и пароль KAF_TPP_RO, затем нажать Enter на клавиатуре или кнопку SignIn – мышью:



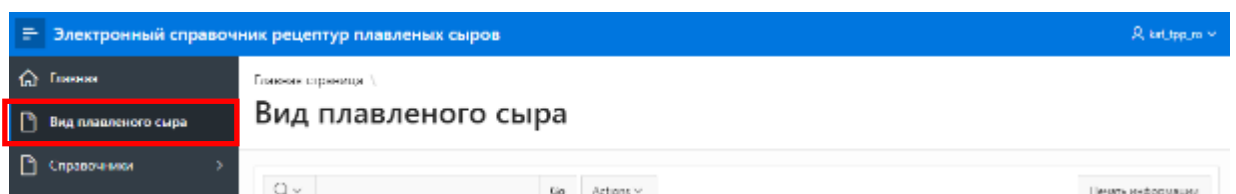
После входа в приложение откроется главная страница приложения. На главной странице приложения представлена статистика по количеству рецептов в разрезе видов плавленого сыра:



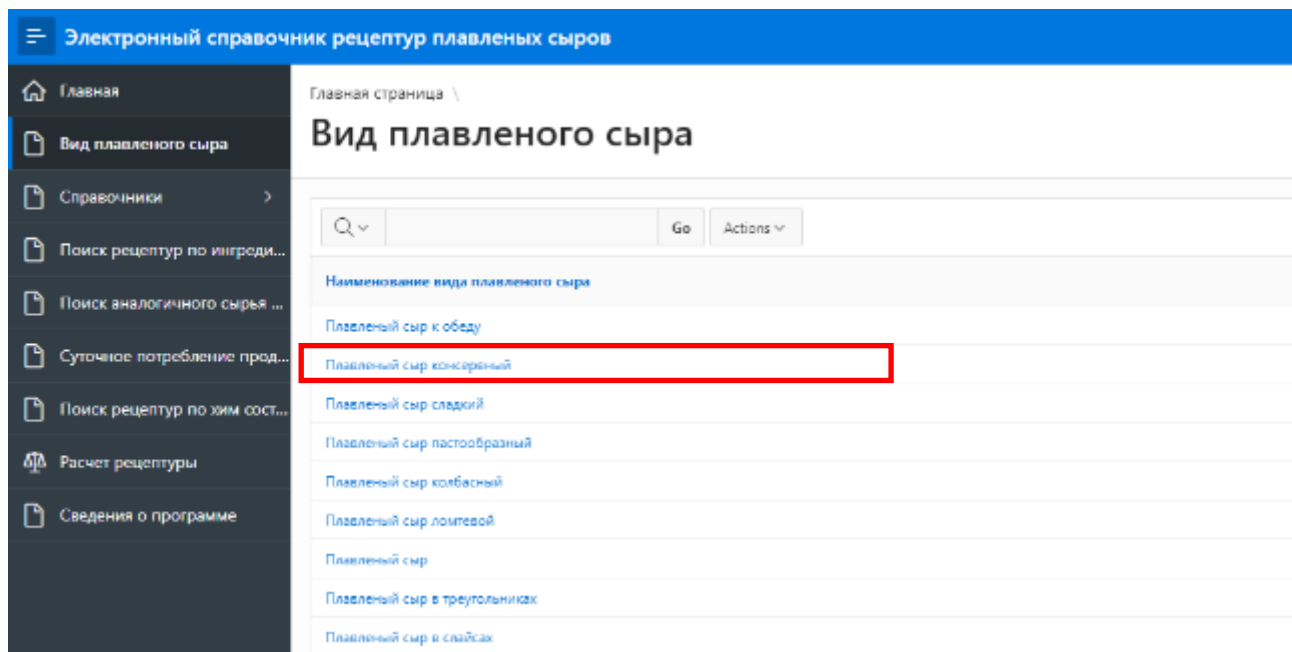
Навигация в приложении осуществляется через главное меню программы, расположенное слева:



Для просмотра информации о готовом продукте (плавяный сыр) необходимо перейти в пункт меню «Вид плавяного сыра»:



В данном пункте меню отображаются виды плавленого сыра (укрупненные группы рецептов). Для просмотра рецептов необходимо выбрать интересующий вид сыра (нажать на нужный вид плавленого сыра в таблице):



После этого откроется страница со списком рецептов выбранного вида сыра, внесенных в систему:

Наименование рецептуры	Источник рецептуры	Комментарий	Наименование рецептуры как в источнике
Для мажаронного блока рецептура N11	Справочник технологии мажаронного производства, Технологии и рецептуры, Т.3 Сыры (Кулешова В.В., Шенер Г.Г.; под общей ред. Г.Г. Шенер), - СПб: ГИОРД, 2001. - 417 с.		Сыр для мажаронного блока
Для мажаронного блока рецептура N11	Собственные исследования		Сыр плавленый для мажаронного блока, рецептура N11
Для мажаронного блока рецептура N12	Технология сыра: Справочник / Г.А. Белова, Т.38 И.П. Буров, И.Д. Бутов и др.; Под общ. ред. Г.Г. Шенера. - М.: Легион и пищевая промышленность, 1964. - 312 с.		Сыр для мажаронного блока
Для мажаронного блока (50 %) рецептура N11	Сиромек, Ш.П. Сварные технологии изготовления по производству плавленых сыров / В.Н. Сергеев. - Улан-Удэ: Издательство СОУ, 1989. - 159 с.		Для мажаронных блока (50 %)
Для мажаронного блока (50 %) рецептура N11	Баран, С.М. Плавленые сыр / С.М. Баран, Кулешова М.Ф. // Пищевая промышленность, Москва, 1963		Сыр для мажаронного блока (50 %)

Для просмотра характеристик рецептов необходимо нажать на наименование рецептуры в таблице:

Главная страница \ Вид плавленого сыра \

Рецептура вида плавленого сыра

Q Go Actions

Наименование рецептуры	Источники рецептуры	Комментарий	Наименование рецептуры как в источнике
С содержанием DM, рецептура NR1	A.H. Volmer Mechanisms of structure formation underlying the creaming reaction in a processed cheese model system as revealed by light and transmission electron microscopy / A.H. Volmer, I. Kieferle, N.N. Yousef, U. Kulczak		Плавленый сыр с содержанием DM, рецептура NR1
Алинка (30 %), рецептура NR1	Патент РФ № 2011114812/10, 12.04.2011. Композиция для плавленого сырного продукта "Алинка" // Патент России № 2499548, 2012. Бюл. № 32. / Молдоба Е.А., Ласин П.А., Дришова А.Ю.		Плавленый сырный продукт "Алинка" (30 %), рецептура NR1
Без добавок (45 %), рецептура NR1	Патент РФ № 200015326/10, 24.12.2010. Композиция для получения плавленого сырного продукта // Патент России № 2475039, 2012. Бюл. № 18. / Гарбов И.Ф., Бажкова С.Е., Белникова Е.В., Серова О.П., Таракатина Н.В.		Плавленый сыр без добавок (45 %), рецептура NR1

После этого откроется страница рецептурного расчета рецептуры со следующими блоками:

– «Строки рецептуры» – в данном блоке отображаются ингредиенты рецептуры и их показатели:

Главная страница \ Вид плавленого сыра \ Рецептура вида плавленого сыра \

Рецептурный расчет плавленого сыра

Вы редактируете рецепт: **Без добавок (45 %), рецептура NR1**

Строки рецептуры

Q Go Actions

Наименование ингредиента	Наименование показателя рецепта	Значение показателя	Минимальное значение	Максимальное значение
Молоко коровье	содержание сухого вещества, %	84		
Масло коровье	содержание жира, %	82,5		
Творог обезжиренный	содержание сухого вещества, %	20		
Сыр плавленый	содержание сухого вещества, %	40		
Молоко коровье сухое обезжиренное	содержание сухого вещества, %	93		
Сыры сырные	содержание жира в сухом веществе, %	45		
Сыры сырные	содержание сухого вещества, %	56		
Соль пищевая (диоксид трифосфата натрия и тетрагидрофурановый гидрат)	содержание сухого вещества, %	20		

1 - 8

– «Стандарты рецептуры» – в данном блоке отображаются стандарты рецептуры (нормативные показатели):

Главная страница \ Вид плавленого сыра \ Рецептура вида плавленого сыра \ Рецептурный расчет плавленого сыра

Стандарт рецептуры

Q Go Actions Обновить

Наименование показателя рецепта	Значение стандарта рецепта	Минимальное значение	Максимальное значение
содержание жира в сухом веществе, %	45		

1 - 1

– «Расход сырья» – в данном блоке отображается расход ингредиентов:

Главная страница \ Вид плавленого сыра \ Рецептuru вида плавленого сыра \ Рецептурный расчет плавленого сыра

Расход сырья по рецептуре

Обновить

Наименование ингредиента	Значение ингредиента
Масло коровье	12,2
Творог обезжиренный	62
Вода питьевая	33,5
Сыр жидкий	40
Масло коровье жирное обезжиренное	10,3
Всего	1000
Соль поваренная	700
Соединения кальция (раствор триполифосфата натрия и натрия тетрафосфата/г/л)	100

1 - 8

– «Химический состав» – в данном блоке отображается химический состав рецептуры:

Главная страница \ Вид плавленого сыра \ Рецептuru вида плавленого сыра \ Рецептурный расчет плавленого сыра

Химический состав рецептуры

Обновить

Наименование нутриента	Значение	Единицы измерения	Признак следы	Минимальное значение	Максимальное значение
Поленинвысодящие	58	грамм/100 г	0		
E	1	миллиграмм/100 грамм	0		

1 - 2

– «Органолептика» – в данном блоке отображаются органолептические показатели рецептуры:

Главная страница \ Вид плавленого сыра \ Рецептuru вида плавленого сыра \ Рецептурный расчет плавленого сыра

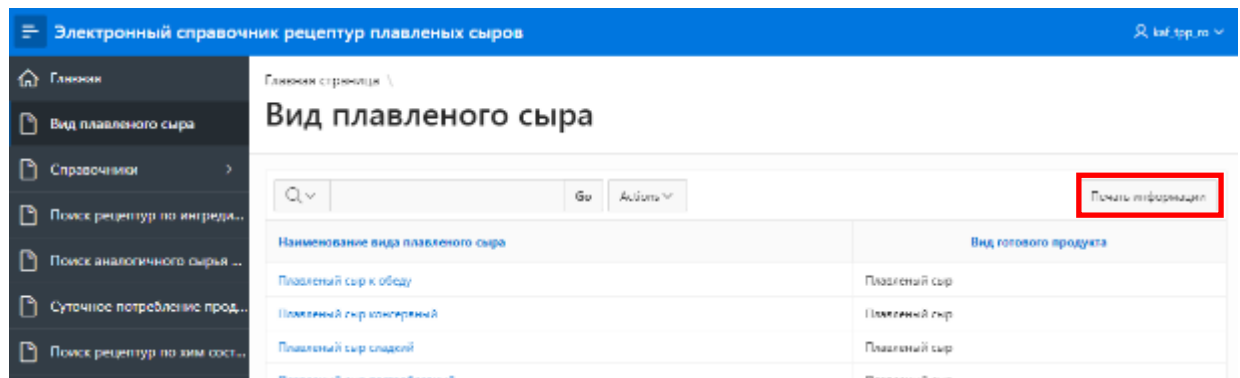
Органолептика

Обновить

Органолептическое свойство	Текстовое значение (при наличии)	Числовое значение (при наличии)
Цвет	Светло-желтый	

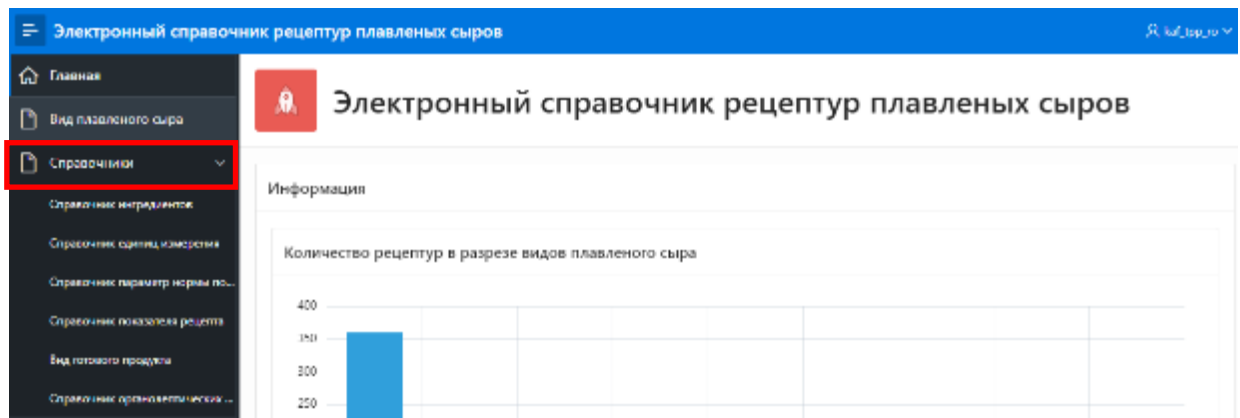
1 - 1

Также в данной вкладке можно выгрузить рецептуры в формате Excel. Для выгрузки рецептов из системы необходимо нажать кнопку «Печать информации»:

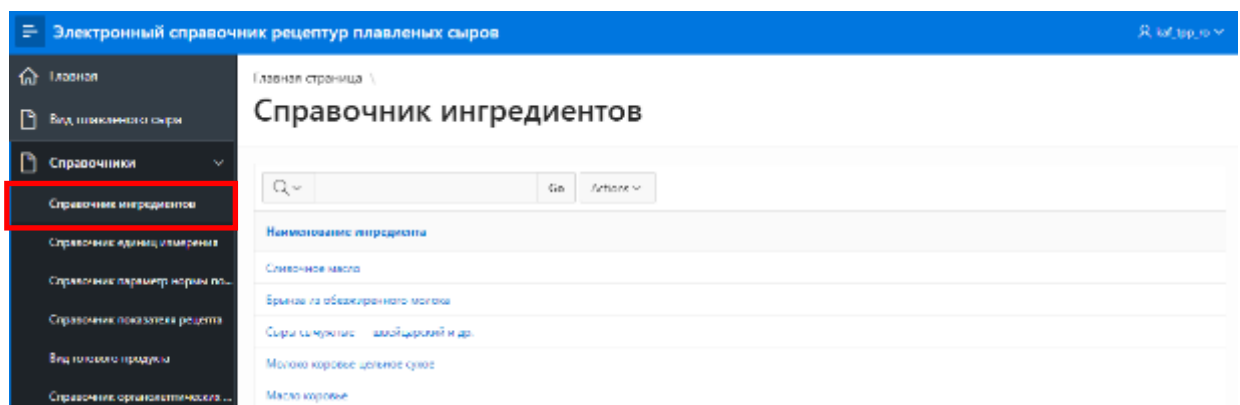


Отчет по рецептурам формируется в формате Excel.

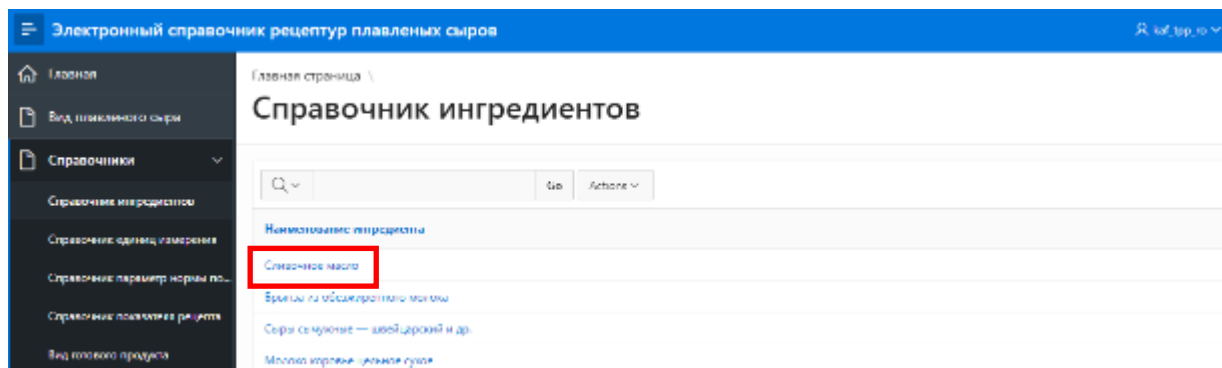
Для работы со справочниками необходимо перейти в пункт меню «Справочники»:



Для того чтобы начать работу со справочником ингредиентов, необходимо выбрать в меню данный справочник:



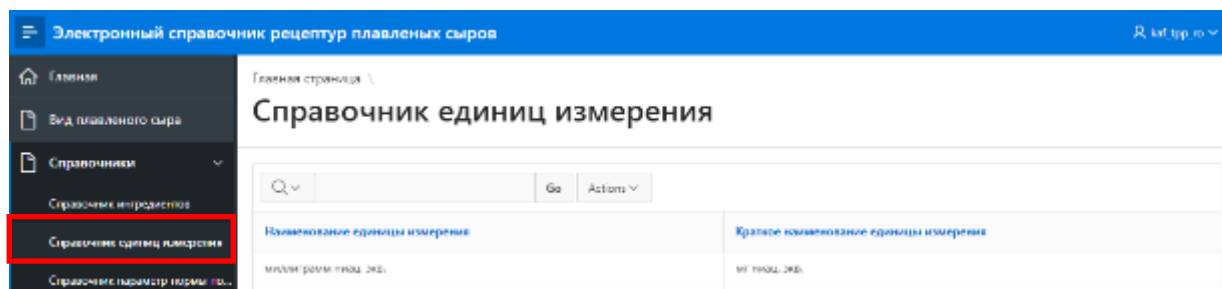
В данном справочнике отображается список ингредиентов, используемых в рецептурах. Для просмотра информации об ингредиенте (его стоимости) необходимо нажать на наименование ингредиента в таблице:



После этого откроется страница с информацией о стоимости выбранного ингредиента по периодам:

Начало периода	Окончание периода	Стоимость
01.04.2022	30.04.2022	088

Для того чтобы начать работу со справочником единиц измерения, необходимо выбрать в меню данный справочник:



В данном справочнике отображается список единиц измерения (с указанием их краткого наименования), используемых в рецептурах.

Наименование единицы измерения	Краткое наименование единицы измерения
миллиграмм плав. сыр.	мг плав. сыр.
микрограмм*	мкг*
миллиграмм на 1000 килокалорий	мг/1000 ккал
миллиграмм плав. сыр. на 1000 килокалорий	мг плав. сыр./1000 ккал
миллиграмм р.п. сыр.	мг р.п. сыр.
миллиграмм топ. сыр.	мг топ. сыр.
грамм на килокалорий сыры типа	г/ккал сыры типа

Для того чтобы начать работу со справочником показателей рецептуры, необходимо выбрать в меню данный справочник:

Наименование показателя рецептуры	Краткое наименование показателя рецептуры
содержание воды, %	вода, %
содержание белка, %	белок, %
содержание жира, %	жир, %
содержание органических кислот, %	орг. кислоты, %
содержание крахмала, %	крахмал, %
содержание соли, %	соль, %
содержание сухого вещества, %	СВ, %
содержание жира и сухого вещества, %	жир и СВ, %
содержание сахара, %	сахар, %
масовая доля жира, %	жир, %

В данном справочнике отображается список показателей (с указанием их краткого наименования), используемых в рецептурах.

Наименование показателя рецептуры	Краткое наименование показателя рецептуры
содержание воды, %	вода, %
содержание белка, %	белок, %
содержание жира, %	жир, %
содержание органических кислот, %	орг. кислоты, %
содержание соли, %	соль, %
содержание сухого вещества, %	СВ, %
содержание жира и сухого вещества, %	жир и СВ, %
содержание сахара, %	сахар, %
максимальная доля жира, %	жир, %

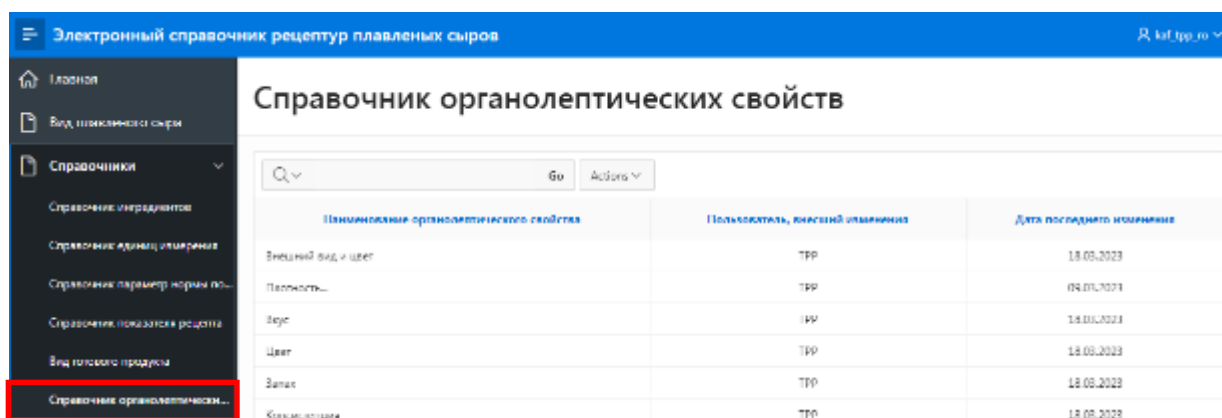
Для того чтобы начать работу со справочником видов готового продукта, необходимо выбрать в меню данный справочник:

Вид готового продукта	Пользователь	Дата редактирования
Плавленый сыр	NAZORNIK.FM	15.06.2022

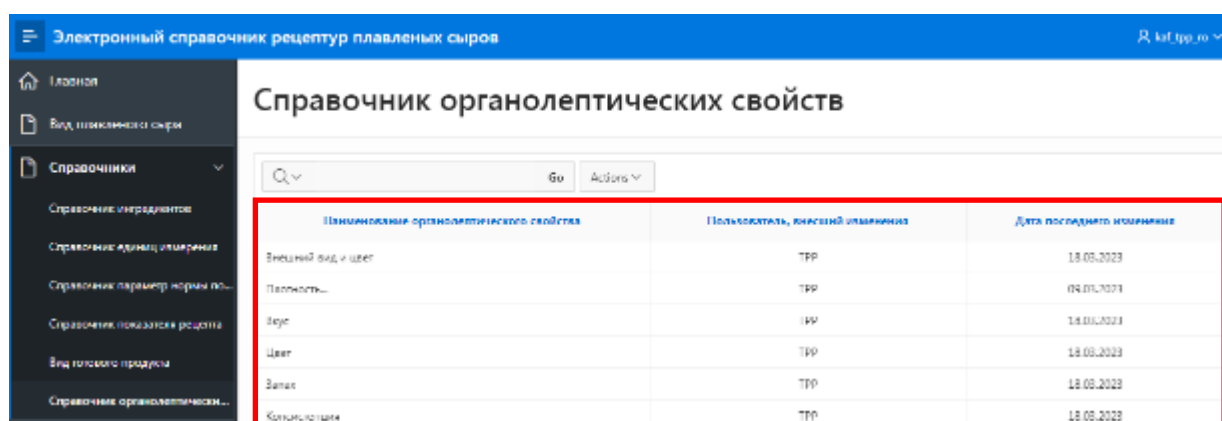
В данном справочнике отображается список видов готового продукта, используемых в приложении.

Вид готового продукта	Пользователь	Дата редактирования
Плавленый сыр	NAZORNIK.FM	15.06.2022

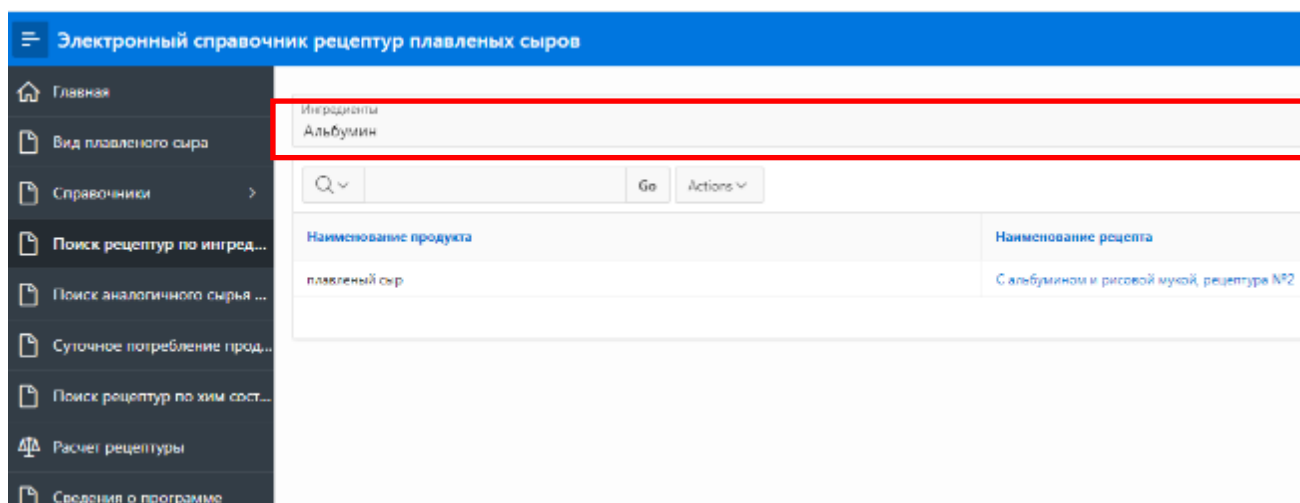
Для того чтобы начать работу со справочником органолептических свойств, необходимо выбрать в меню данный справочник:



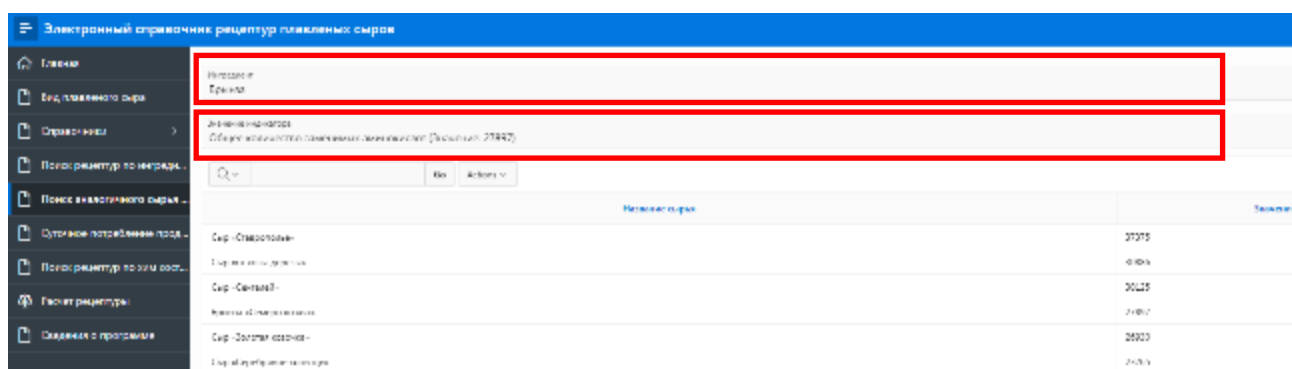
В данном справочнике отображается перечень органолептических свойств, указанной рецептуры.



В пункте меню «Поиск рецептур по ингредиенту» Вы можете просмотреть использование ингредиента в рецептурах. Для этого необходимо выбрать интересующий Вас ингредиент в поле «Ингредиенты»:



В пункте меню «Поиск аналогичного сырья по хим. составу заданного ингредиента» Вы можете просмотреть ингредиенты-заменители, которые могут использоваться в рецептурах (с учетом конкретного индикатора). Для этого необходимо выбрать интересующий Вас ингредиент в поле «Ингредиент» и индикатор в поле «Значение индикатора»:



В пункте меню «Поиск рецептов по хим. составу продовольственного сырья» Вы можете просмотреть рецептуры, содержащие индикатор конкретного сырья (продукта). Для этого необходимо выбрать интересующее Вас сырье (продукт) в поле «Продовольственное сырье или продукт питания» и индикатор в поле «Индикатор»:

Продолжение списка рецептов сыров

Данные по продукту растительного происхождения (Неаристовое травяное сырье) (годы: отходы/вооружения/промышленный) (годы: выдержка)

Рецепты:

Плавленый сыр

Go Action

Наименование продукта	Наименование рецепта	Баланс:
плавленый сыр	Сыр плавленый (финансовый эквивалент (90 %), рецептура №9	,50
плавленый сыр	Сыр плавленый (финансовый эквивалент (90 %), рецептура №9	,50
плавленый сыр	Сыр плавленый (финансовый эквивалент (90 %), рецептура №1	,50
плавленый сыр	Сыр плавленый (финансовый эквивалент (90 %), рецептура №1	,50
плавленый сыр полужирный	Костромской, рецептура №2	,50
плавленый сыр полужирный	Россы (сыр) (85 %), рецептура №1	,50
плавленый сыр полужирный	Россы (сыр) (85 %), рецептура №1	,50
плавленый сыр полужирный	Россы (сыр) (85 %), рецептура №9	,50
плавленый сыр полужирный	Смоленский, рецептура №2	,40
плавленый сыр	С. урвы (урвы) (40 %), рецептура №9	,5
плавленый сыр	С. урвы (урвы) (40 %), рецептура №9	,5
плавленый сыр	С. урвы (урвы) (40 %), рецептура №9	,5
плавленый сыр мягкий	Смоленский, рецептура №1	,15
плавленый сыр мягкий	Россы (сыр) (85 %), рецептура №1	,15
плавленый сыр мягкий	Россы (сыр) (85 %), рецептура №9	,15
плавленый сыр мягкий	Россы (сыр) (85 %), рецептура №9	,15

1 - 15

В списке выводятся все рецептуры, содержащие данный индикатор, отфильтрованные в порядке возрастания значения индикатора.

Сведения о программе и авторах доступны в пункте меню «Сведения о программе»:

Электронный справочник рецептов плавленых сыров

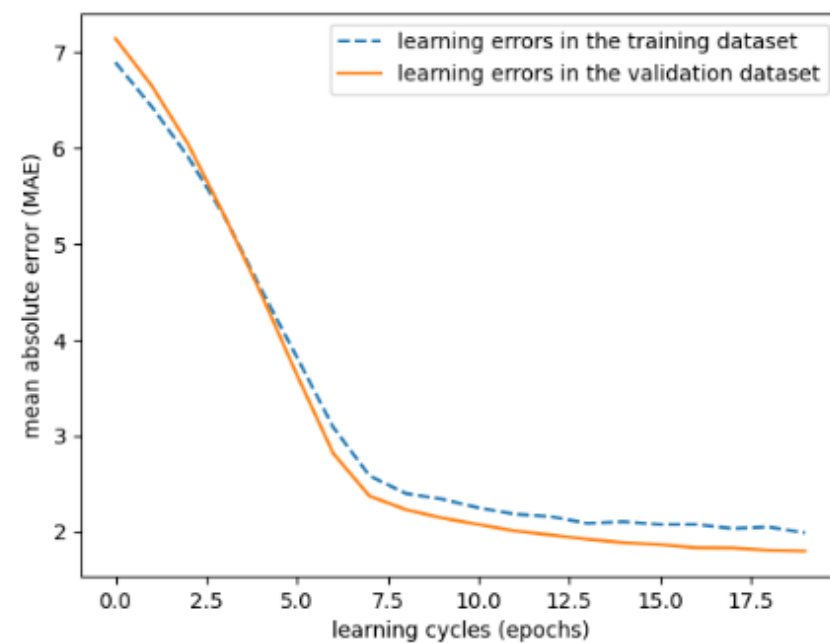
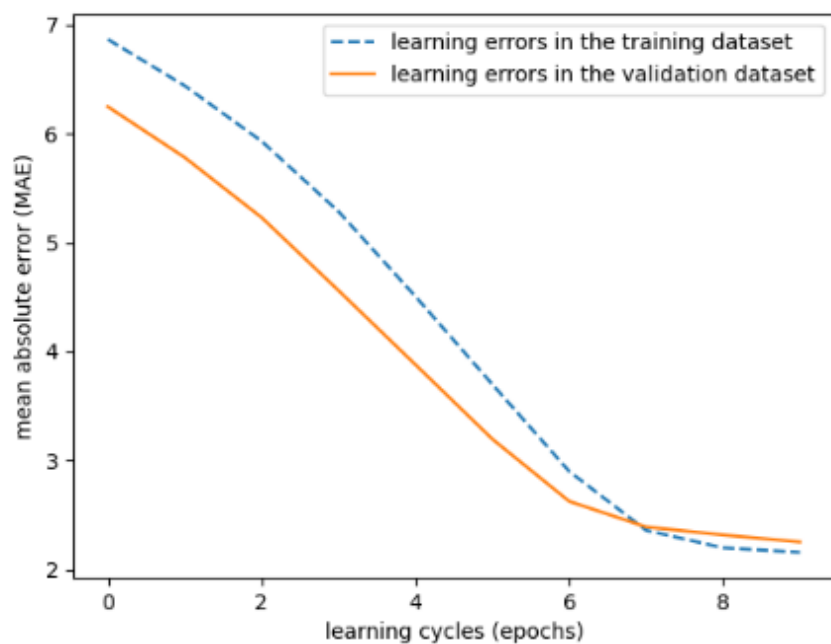
- Главная
- Вид плавленого сыра
- Справочники
- Поиск рецептов по ингреди...
- Поиск аналогичного сыра ...
- Существенные изменения пр...
- Поиск рецептов по хим. сост...
- Расчет рецептуры
- Сведения о программе**

сведения о программе

Рецептуры плавленых сыров
 ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова»
 Авторы: Мусина О.Н., Нагорных Е.М.
 Авторы благодарят за финансовую поддержку Минобрнауки РФ (заявка № 075-00316-20-01, FZMMM-2020-0013, инвентарный код 0511-2020-013).
 Свидетельство об официальной регистрации БД № 2023670806РД, заявка № 2023670498, заявл. 22.02.2023, опублик. 06.03.2023.
 Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № , заявка № , заявл. , опублик. .
 © Мусина О.Н., Нагорных Е.М., 2022.
 © ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова», 2022

Приложение В (справочное)

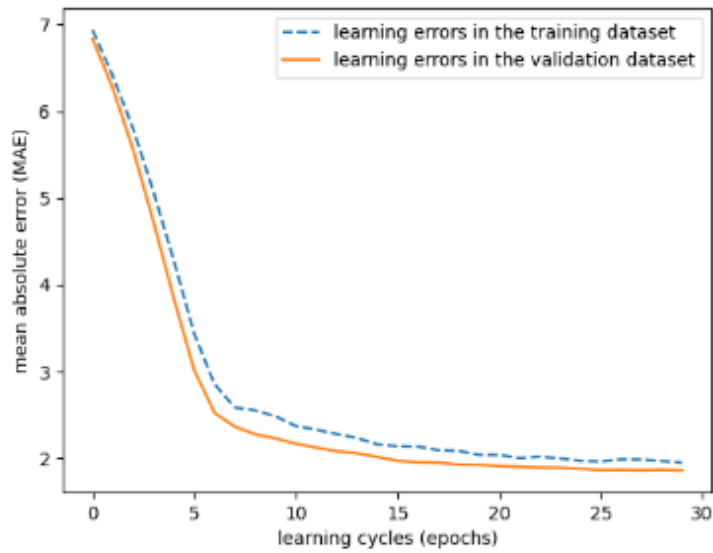
Циклы обучения нейросети «Пищевые системы» от 8 до 5000 эпох, оценка стабильности модели обучения



x=8.93 y=2.15



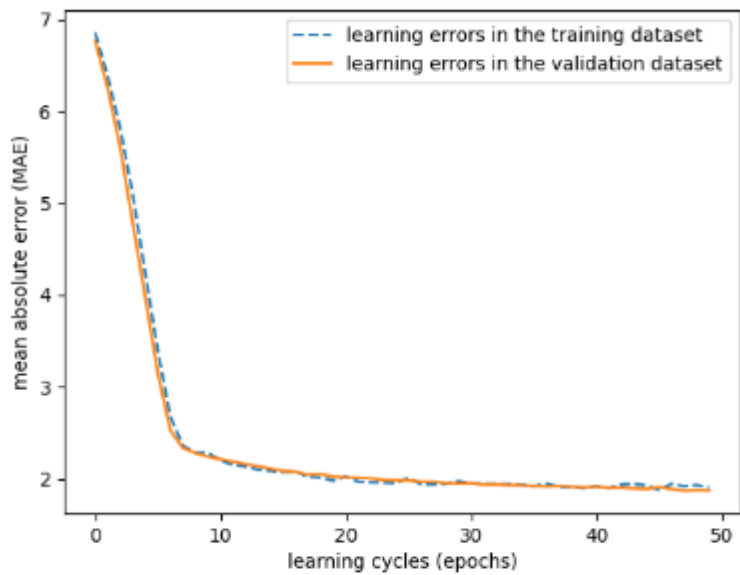
x=18.94 y=1.82



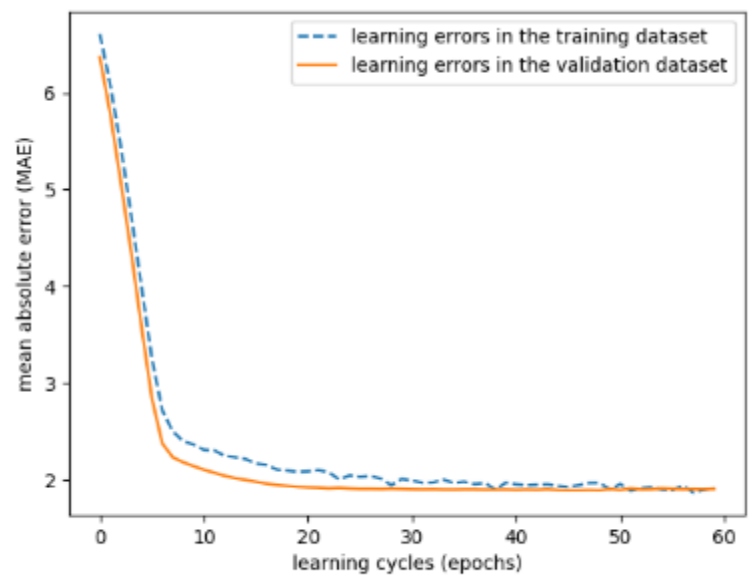
x=29.04 y=1.85



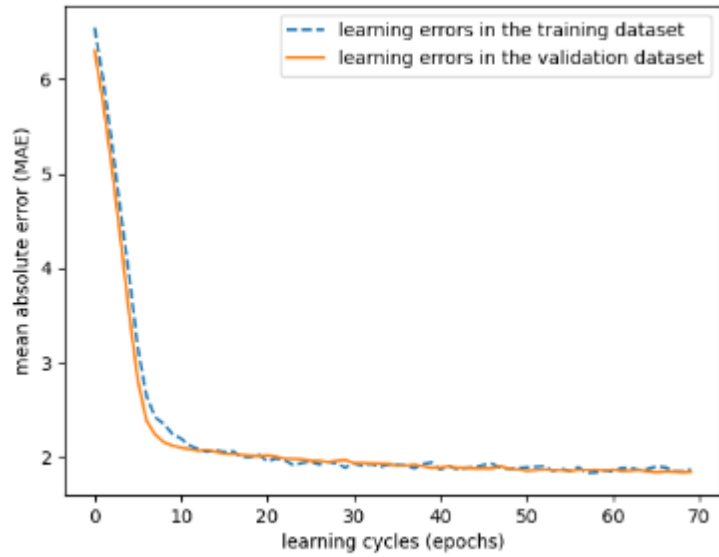
x=39.13 y=1.96



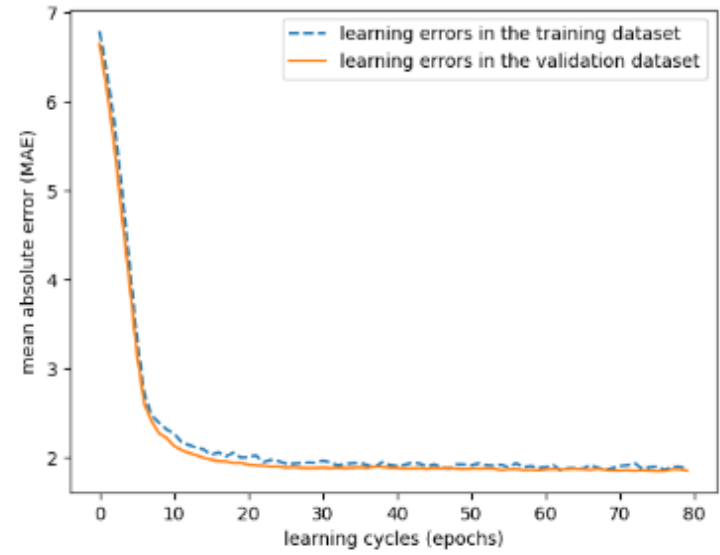
x=48.8 y=1.93



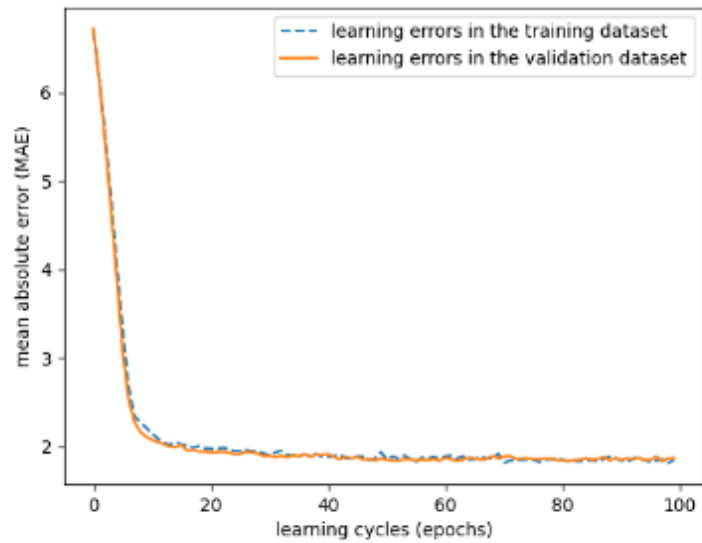
x=59.1 y=1.89



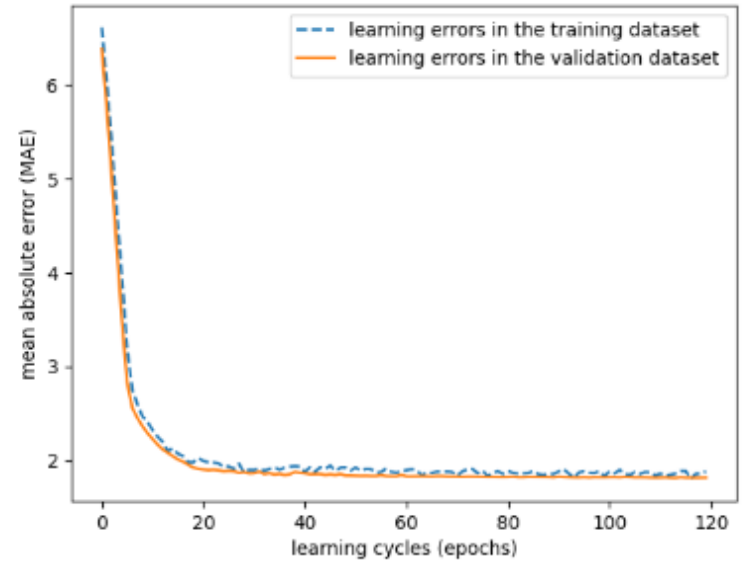
x=69.1 y=1.85



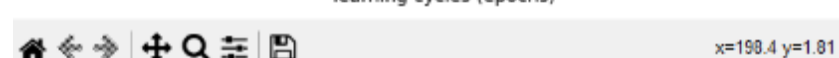
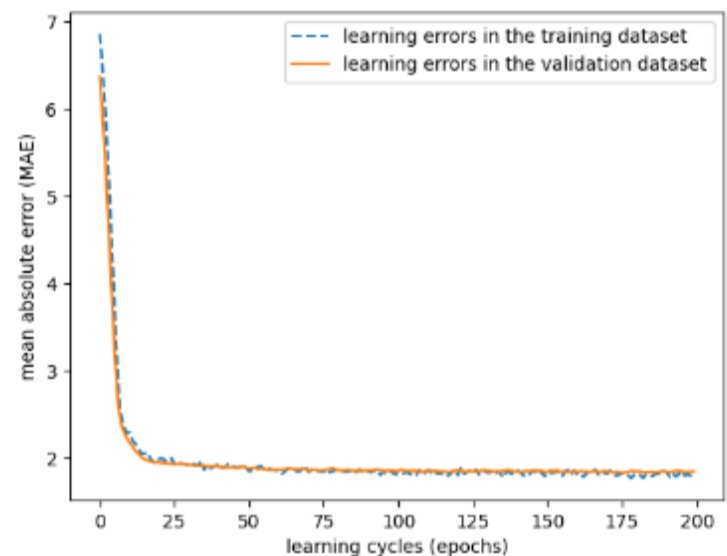
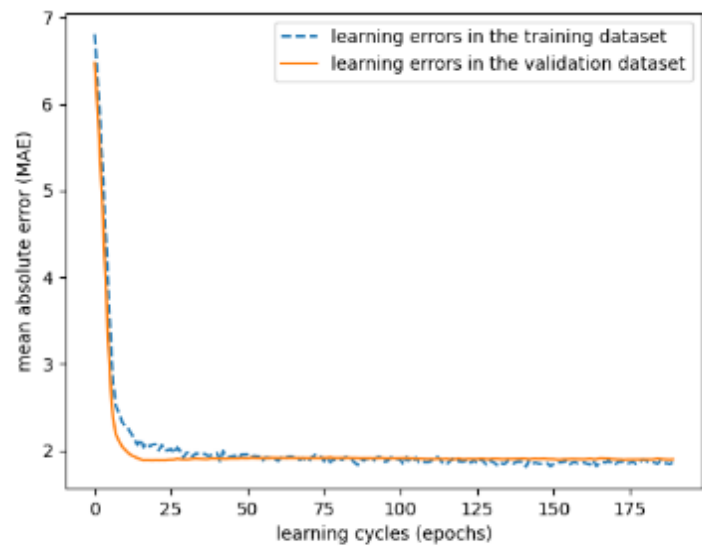
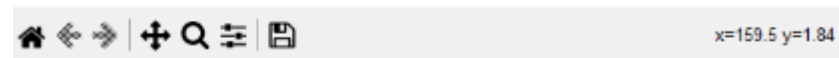
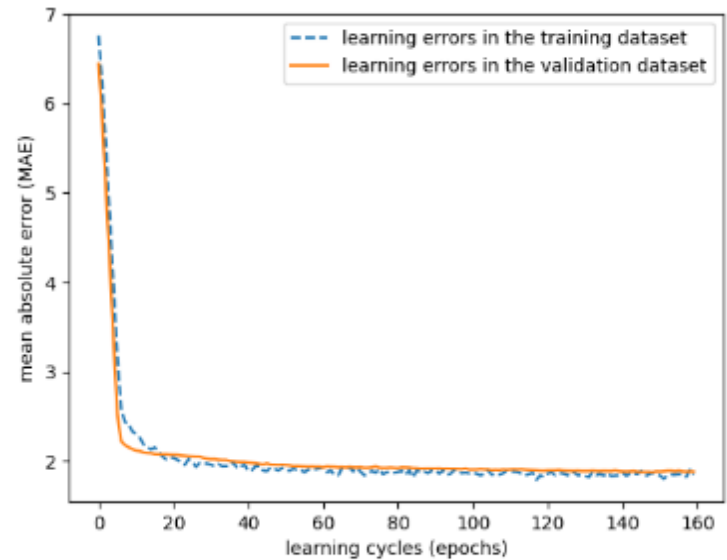
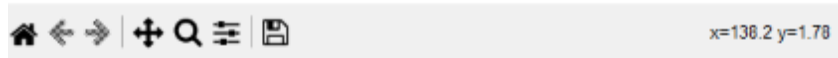
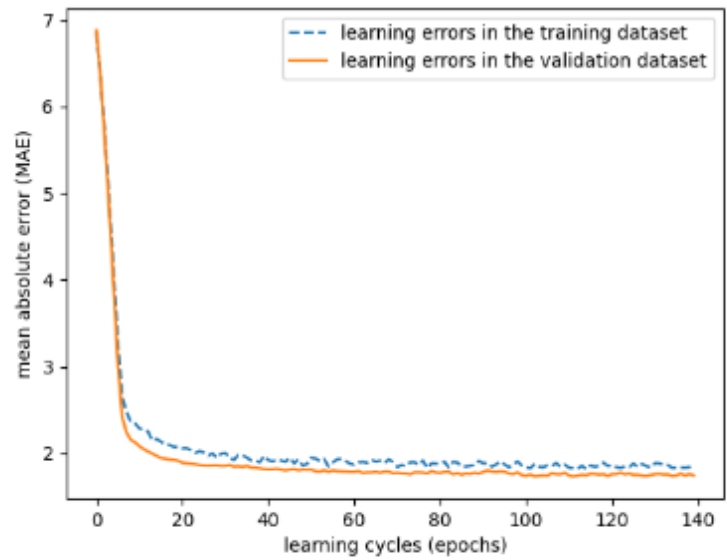
x=78.7 y=1.86

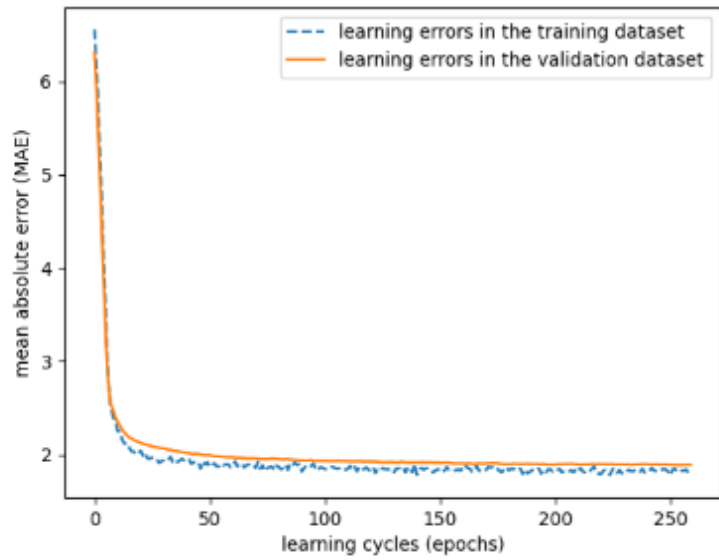


x=98.9 y=1.84

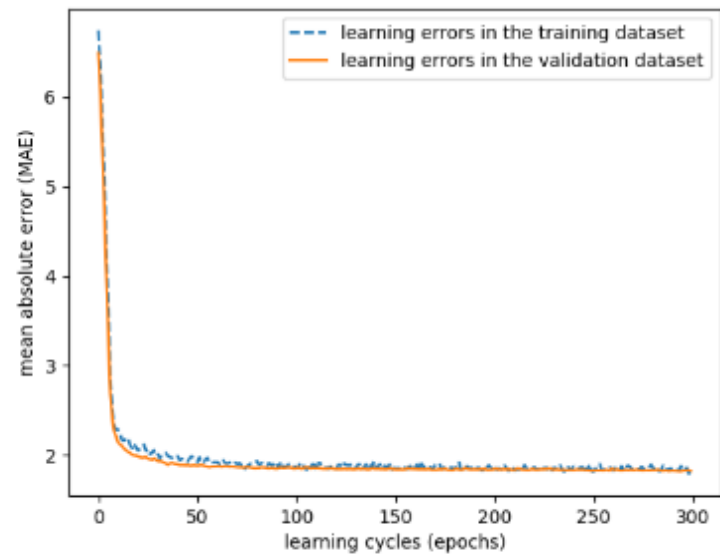


x=118.9 y=1.83

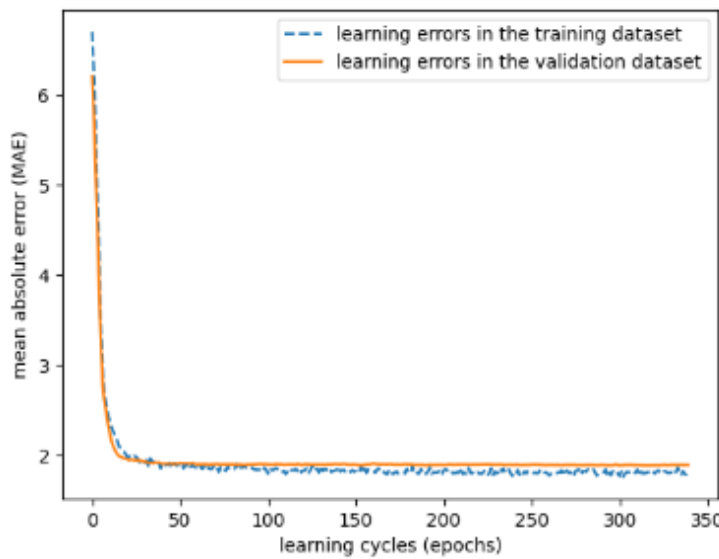




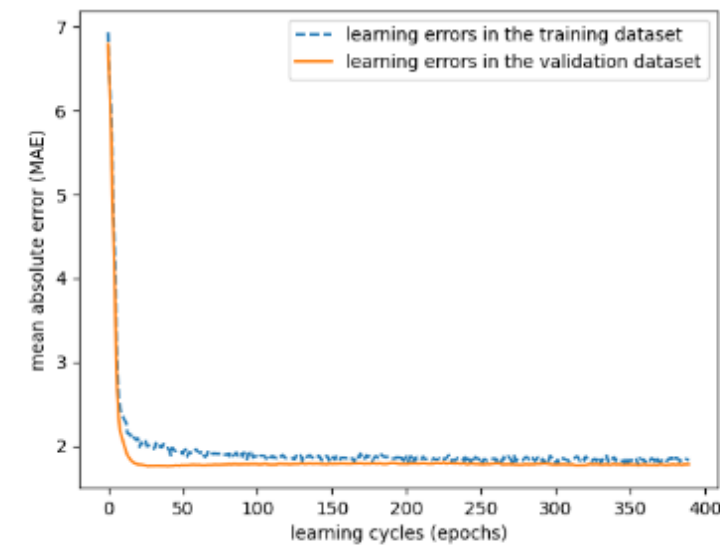
x=258.7 y=1.84



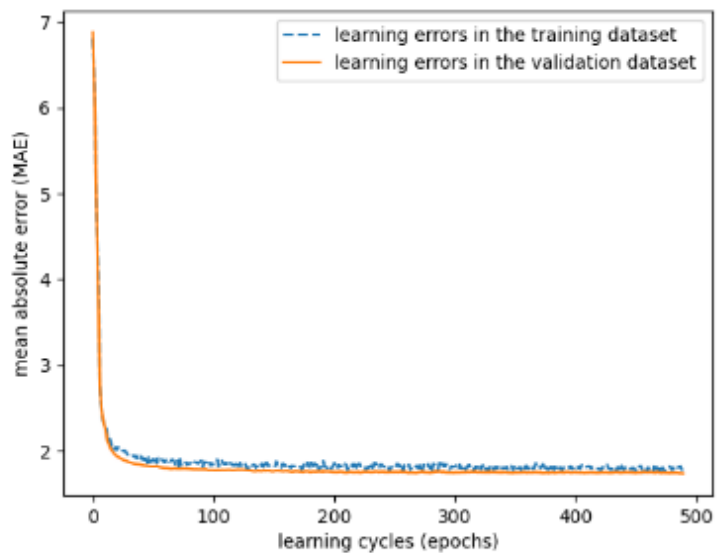
x=299.4 y=1.83



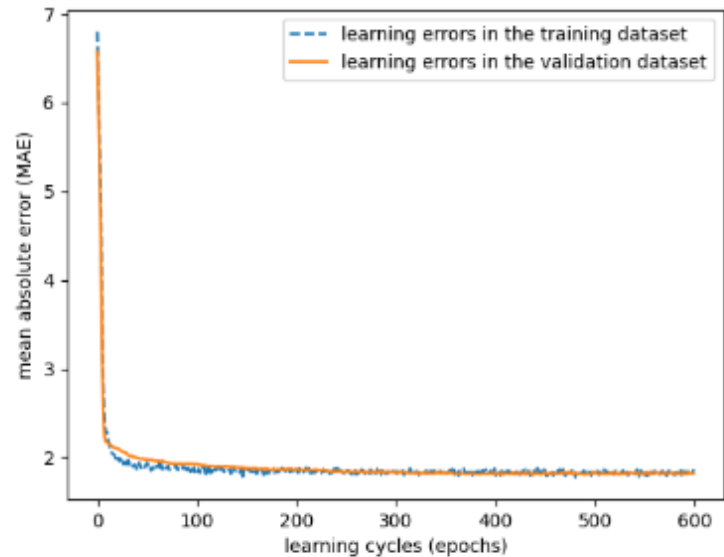
x=338.7 y=1.83



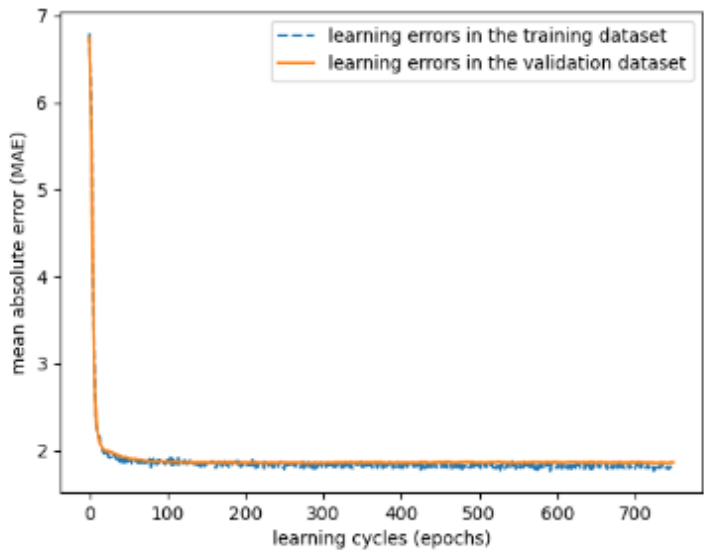
x=388.6 y=1.79



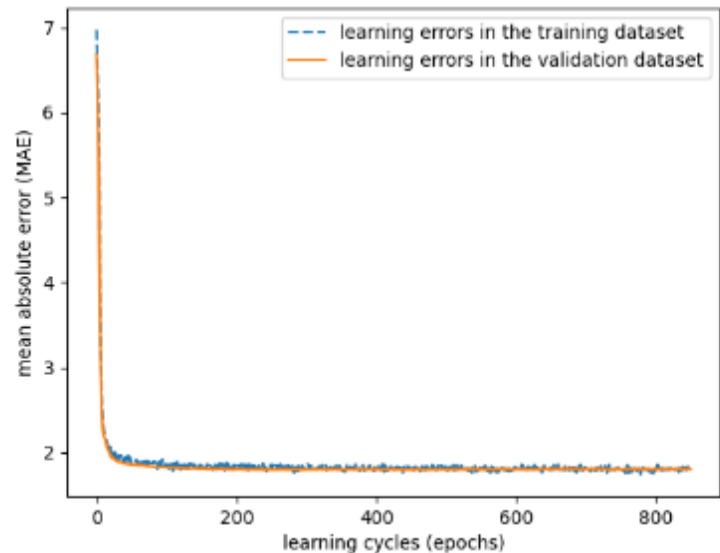
x=489, y=1.74



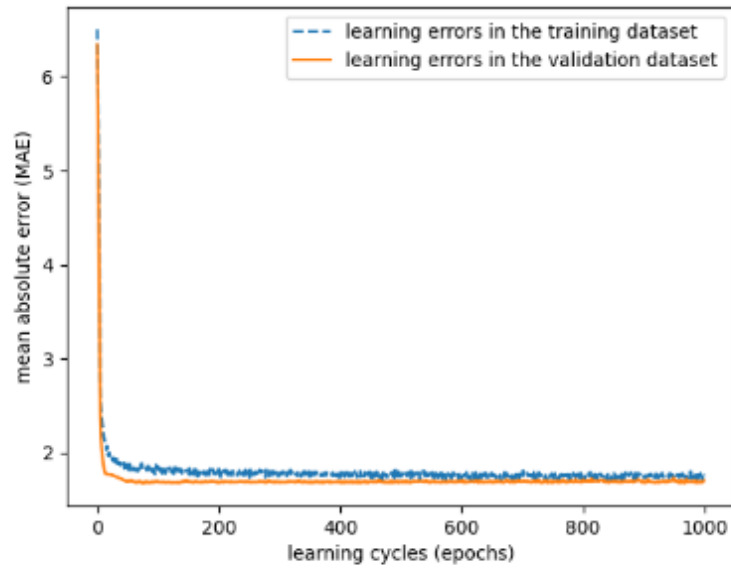
x=598, y=1.81



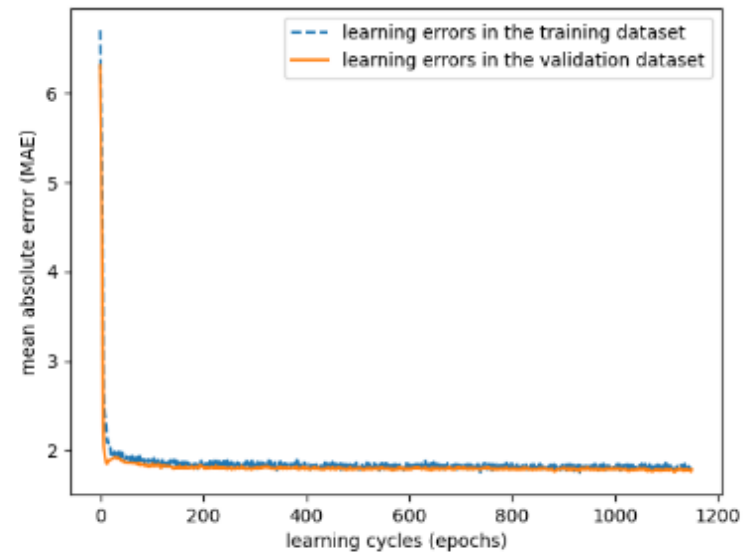
x=748, y=1.83



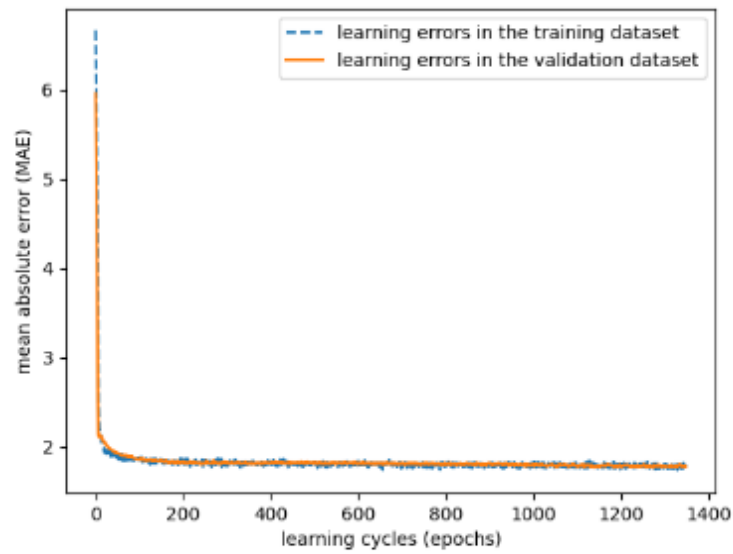
x=842, y=1.83



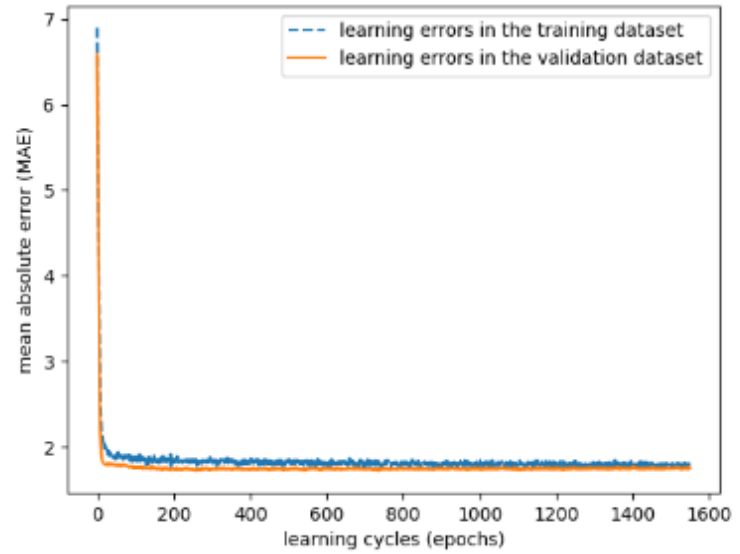
x=998, y=1.75



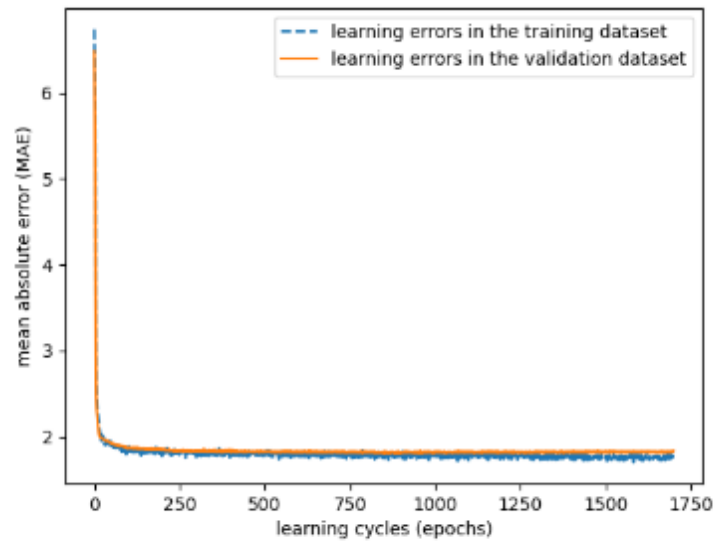
x=1143, y=1.80



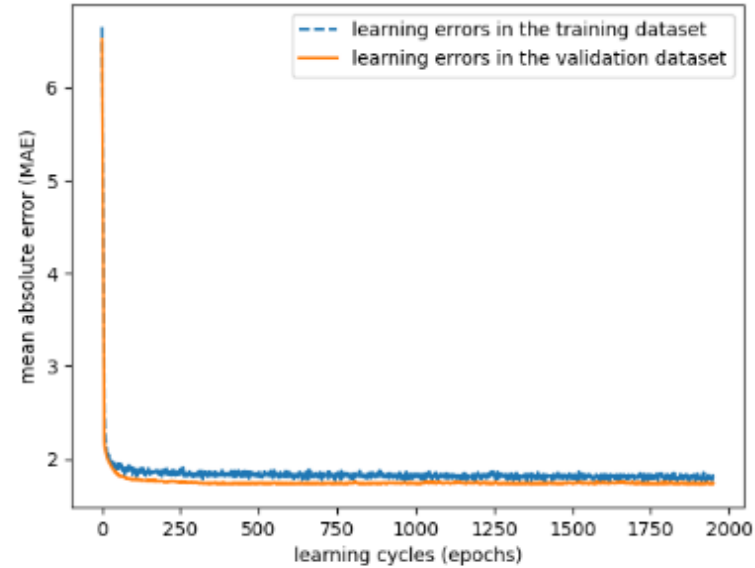
x=1348, y=1.79



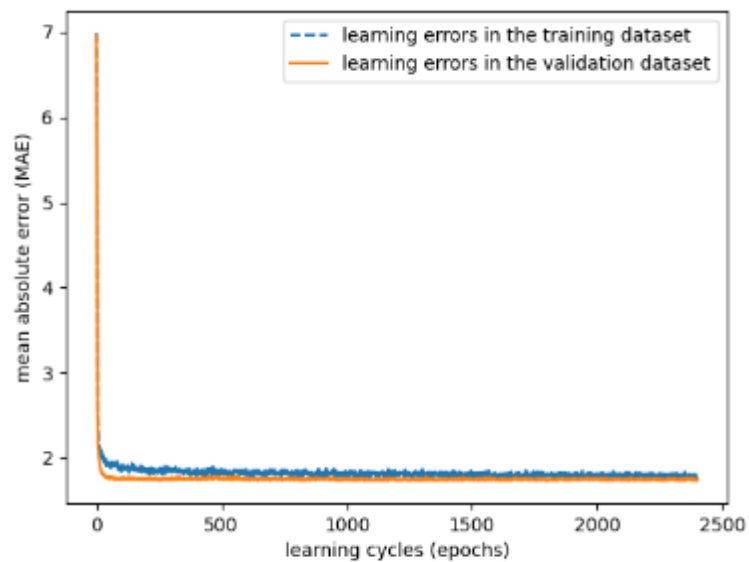
x=1544, y=1.77



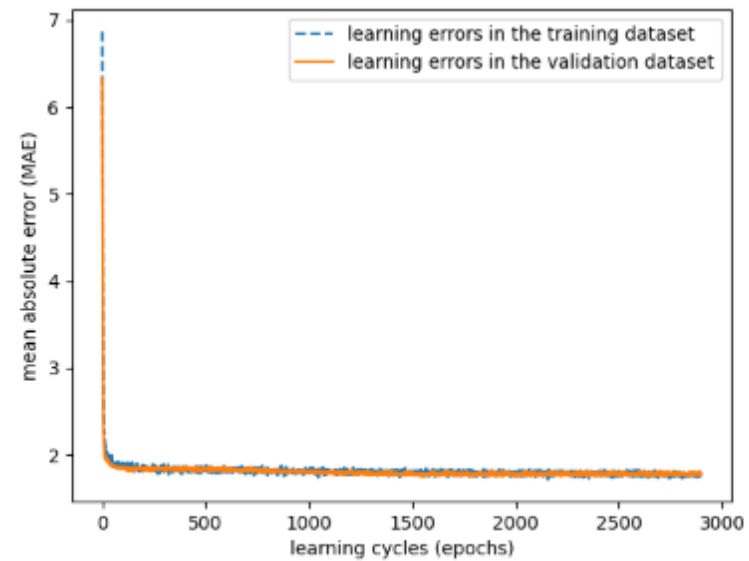
x=1697, y=1.78



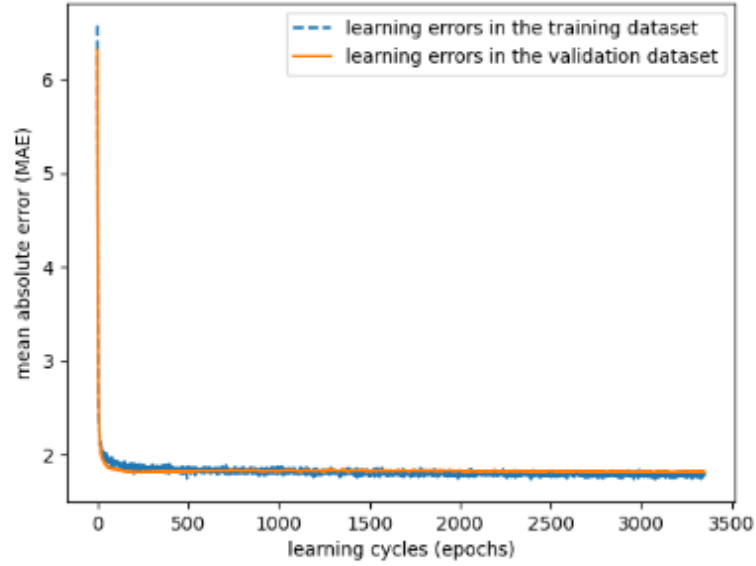
x=1947, y=1.76



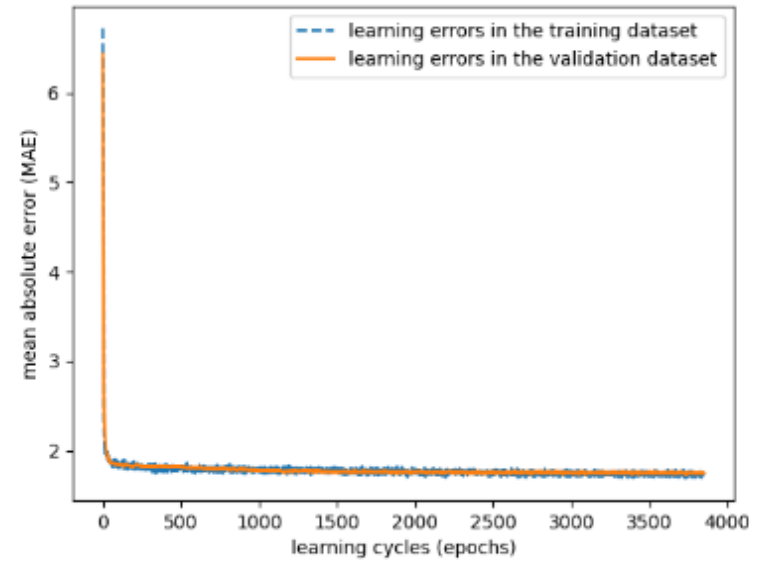
x=2397, y=1.76



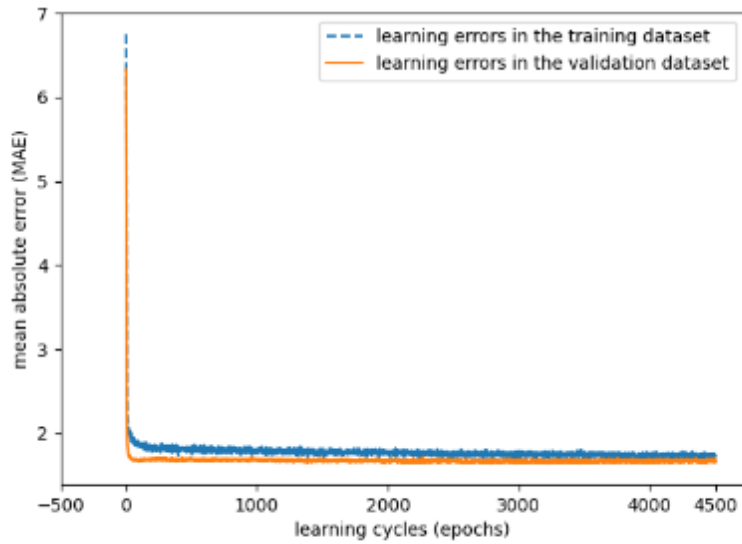
x=2896, y=1.76



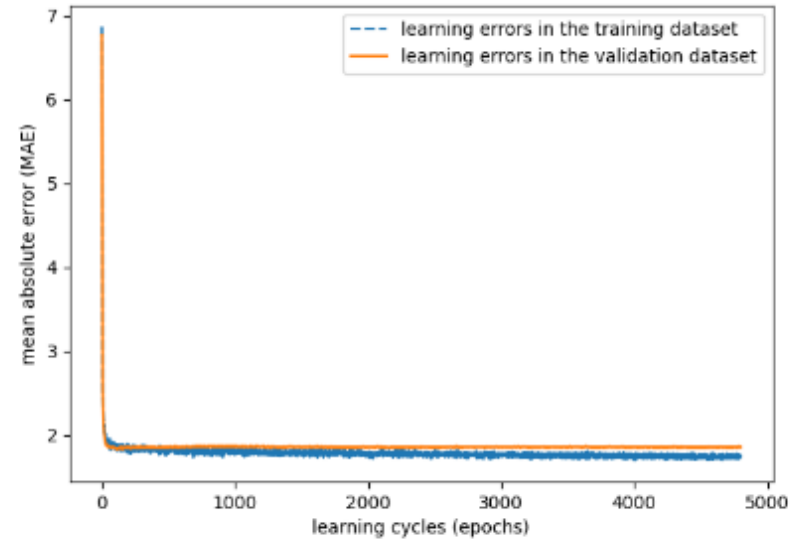
x=3346, y=1.77



x=3845, y=1.76



x=4484, y=1.75



x=4791, y=1.78

Приложение Г
(справочное)

Микроструктурные исследования образцов плавленого сыра

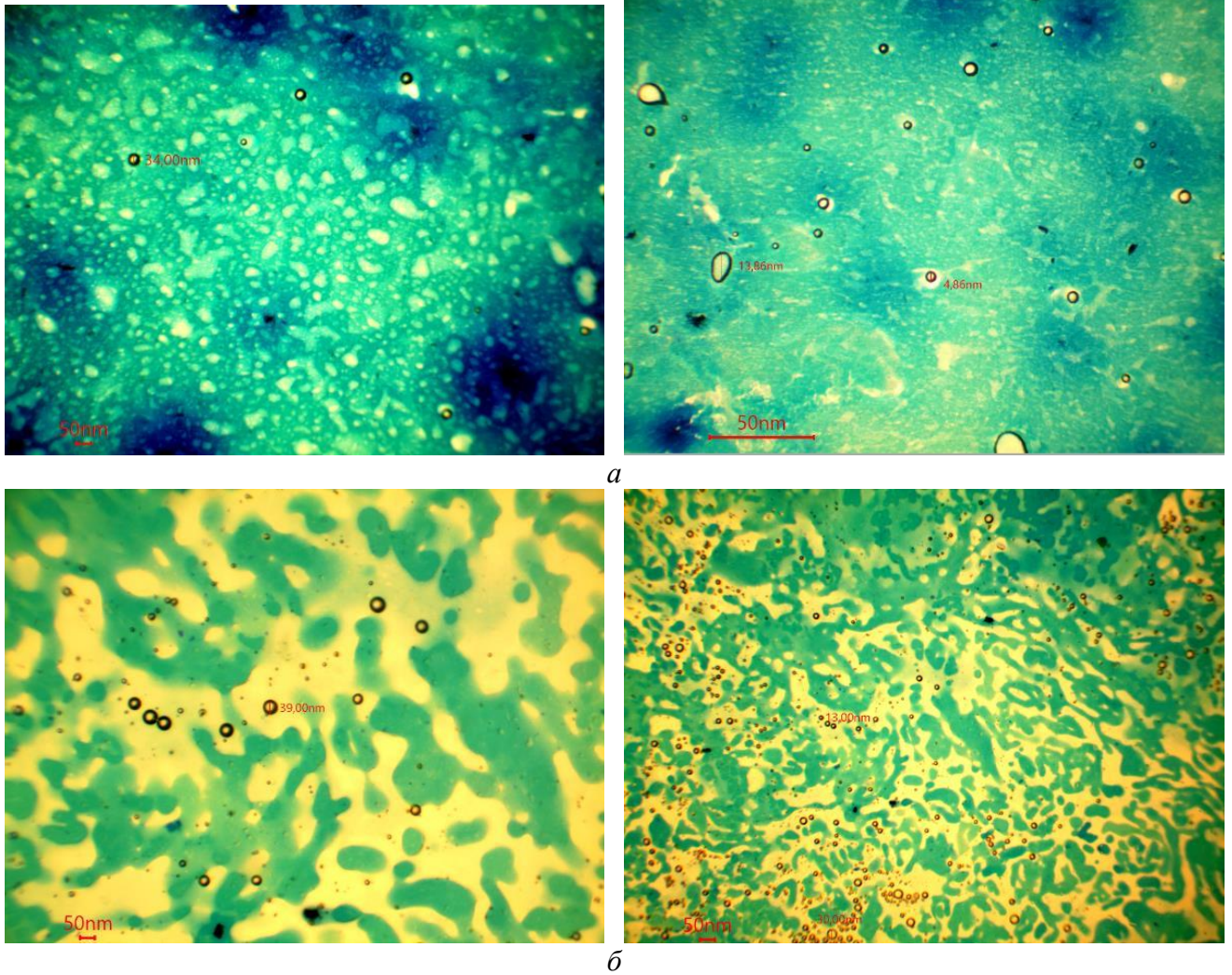
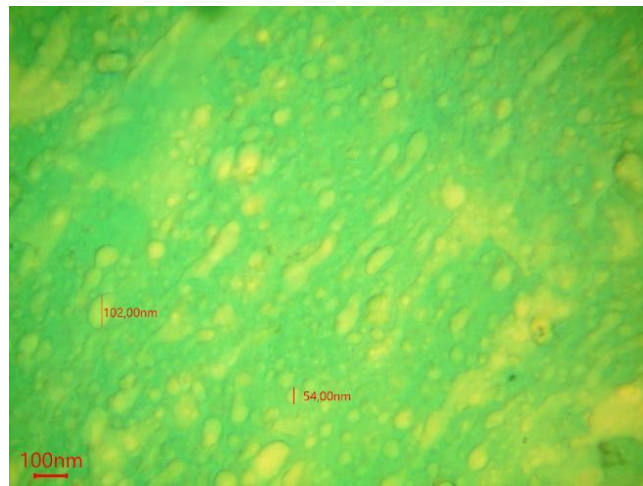
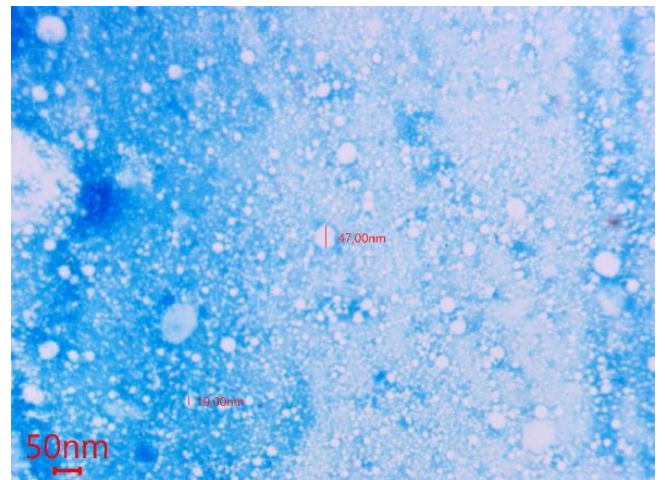
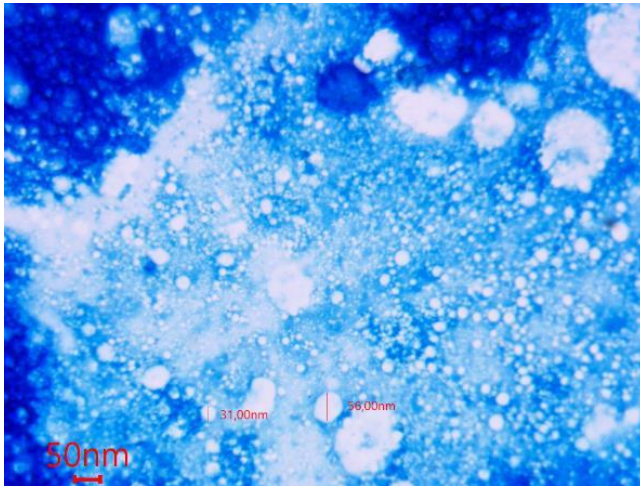


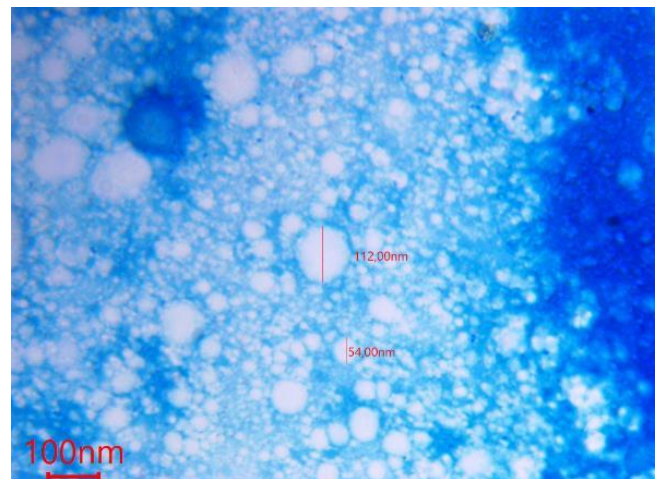
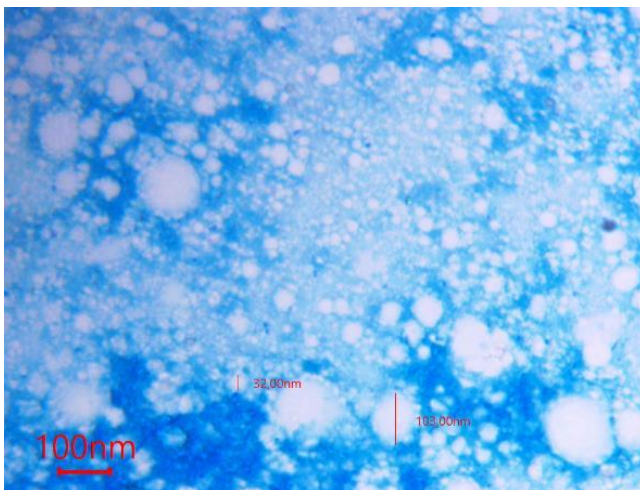
Рисунок Г.1 – Плавленый сыр без наполнителей (контроль):
а – увеличение $\times 127$; б – увеличение $\times 318$



6



2



d

Рисунок Г.1 – Плавленный сыр без наполнителей (контроль):
 в – увеличение $\times 1270$; з – увеличение $\times 1354$; д – увеличение $\times 3384$

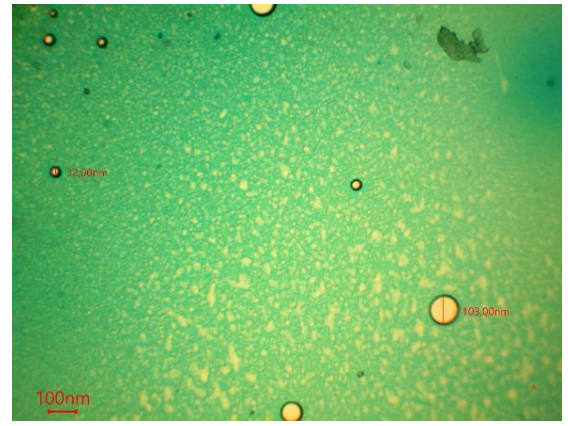
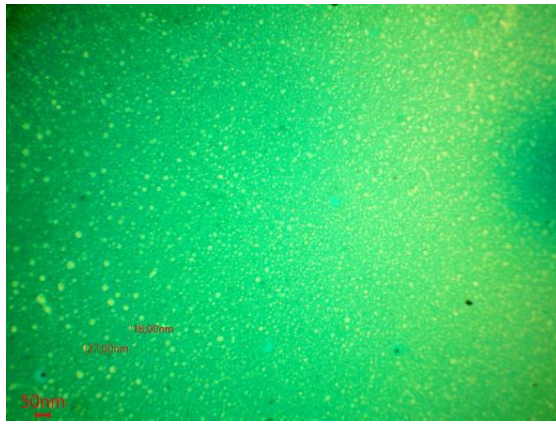
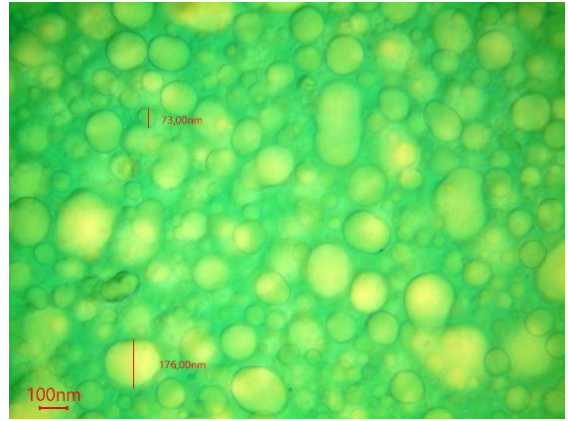
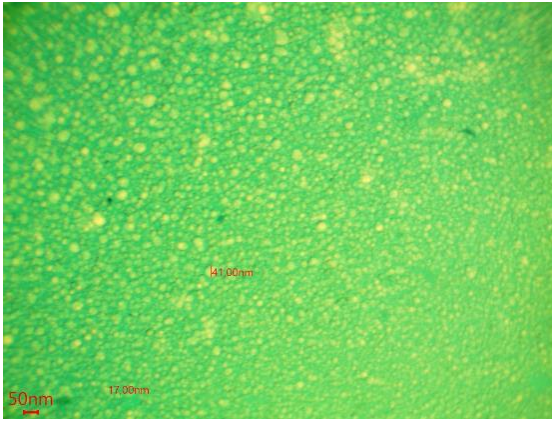
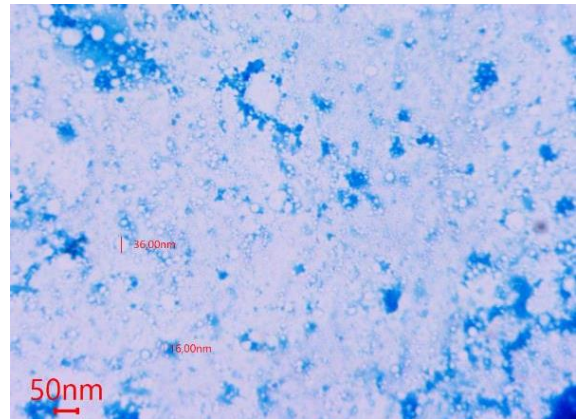
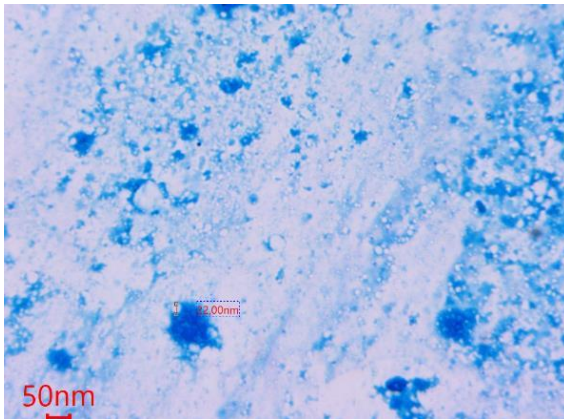
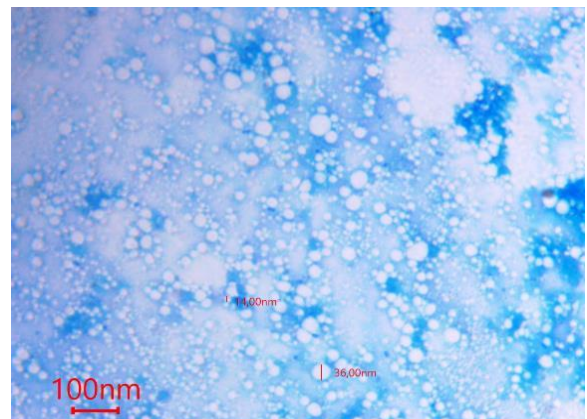
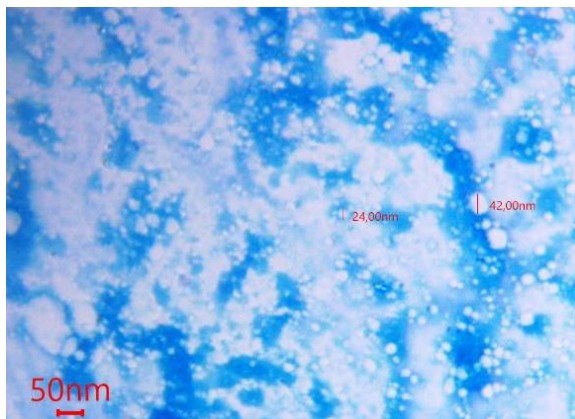
*a**б**в**с**д*

Рисунок Г.2 – Плавленный сыр с добавлением коллагена: *a* – увеличение $\times 127$; *б* – увеличение $\times 318$; *в* – увеличение $\times 1270$; *с* – увеличение $\times 1354$; *д* – увеличение $\times 3384$

Приложение Д
(справочное)

Титульные листы НД

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА»
(АлтГТУ)

СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ

СТО 02067824
-006-2023

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по НИР АлтГТУ

А.А. Беушев

«*В*» *Беушев* 2023 г.

Сыр плавленный пастообразный обогащенный
«Сырте»

РАЗРАБОТАНО:

Профессор кафедры ТПП, д.т.н

О.Н. Мусина О.Н. Мусина
«*В*» *Мусина* 2023 г.

Аспирант кафедры ТПП

Е.М. Нагорных Е.М. Нагорных
«*В*» *Нагорных* 2023 г.

Барнаул
АлтГТУ
2023*

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»

(АлтГТУ)

ОКПД 2 10.51.40.170

Группа Н17
(ОКС 67.100.30)

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по НИР АлтГТУ



А.А. Беушев

» enlope 2023 г.

Сыр плавленый пастообразный обогащенный «Сырте»

Технологическая инструкция к СТО 02067824-006-2023

Дата введения в действие 1 февраля 2023 г.

РАЗРАБОТАНО:

Профессор кафедры ТПП, д.т.н.

О.Н. Мусина О.Н. Мусина

Аспирант кафедры ТПП

Е.М. Нагорных Е.М. Нагорных

Барнаул .

Приложение Е
(справочное)

Протоколы органолептической оценки


 Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АЛТАЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ»
 (ФГБНУ ФАНЦА)
 п. Научный городок, д.35, г. Барнаул, Алтайский край, 6560910
 Тел-факс (3852) 49-62-30, e-mail: anish@mail.ru
 ОКПО 71220805; ОГРН 1032202071505; ИНН/КПП 2223043971/222301001

25.05.2022 г.


Экспертный лист по оценке опытных образцов плавленого пастообразного сыра с различными наполнителями

№ п/п	Наименование	Вкус и запах (15)	Консистенция (9)	Цвет (2)	Вид на разрезе (срезе) (2)	Внешний вид (в т.ч. упаковка и маркировка) (2)	Общий балл (30)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	С добавлением 1% клубники (порошок)	Слабовыраженный 12	Плотная, глянцевая 5	Нехарактерный 1	2	Усл. 2	22
2	С добавлением 11,1% манго (порошок)	Пустоватый, слабовыраженный 11	Крупитчатая 5	Сероватый 1	2	Усл. 2	21
3	С подсолнечным Лецитином	Чистый, молочный 15	Хорошая 8	Однородный 2	2	Усл. 2	29

1	2	3	4	5	6	7	8
4	С томатами сушеными молотыми	Отличный 15	Хорошая 8	Характерный, однородный 2	2	Усл. 2	29
5	С клетчаткой пшеничной «Клеопатра»	Выраженный, чистый 15	Хорошая 8	Однородный с вкраплениями наполнителя 2	2	Усл. 2	29
6	Сливочный	Чистый, сливочный 15	Слегка вязкая 5	Однородный 2	2	Усл. 2	26
7	С соком ирги	Чистый, слабо выраженный 12	Слегка липкая 6	Интенсивное окрашивание 1	2	Усл. 2	23
8	Медовый	Хороший, с выраженным вкусом и ароматом 15	Отличная 9	Однородный 2	2	Усл. 2	30
9	С добавлением какао 2%	Хороший 14	Недостаточно пластичная 7	Однородный 2	2	Усл. 2	27
10	С использованием смеси (сахар, какао, орехи, ванилин) типа «Сказка»	Выраженный вкус и запах 15	Тугоплавкая 5	Неоднородный 1	2	Усл. 2	25
11	С порошком сухих томатов 5%	Слабовыраженный вкус и запах 11	Слегка вязкая 5	Однородный 2	2	Усл. 2	22

Опытные выработки проводились с января по май месяцы 2022 г., с подбором различных видов сыров, температурных режимов, время плавления, активной кислотности рН до внесения вкусовых ингредиентов и после их внесения, дозировка солеплавителей. Использовали три вида солеплавителей № 120, № 820, № 90S

Подписи:


Мусина О.Н.


Бондаренко Н.И.


Усатюк Д.А.


Голобокова С.И.


Нагорных Е.М.





Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АЛТАЙСКИЙ НАУЧНЫЙ
 ЦЕНТР

АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ»
 (ФГБНУ ФАНЦА)

п. Научный городок, д.35, г. Барнаул, Алтайский край, 656910
 Тел/факс (3852) 49-62-30, e-mail: anishk@mail.ru
 ОКПО 71220805; ОГРН 1032202071505; ИНН/КПП 2223043971/222301001

Сводный экспертный лист по оценке качества плавленого пастообразного сыра
 с разными наполнителями (опытные образцы)

Дата 14.06.2022 г.

Экспертная комиссия отдела СиБНИИС ФГБНУ ФАНЦА

Наименование продукта	Органолептические показатели плавленого сыра (характеристика, балл)					Общий балл	Примечание
	Вкус и запах	Консистенция	Цвет	Вид на срезе	Внешний вид, в т.ч. упаковка и маркировка		
1. Сыр плавленый пастообразный с добавлением клетчатки	Чистый, сырный, слабовыраженный запах 13,8	Хорошая 8,0	Однородный с вкраплениями наполнителя 2,0	Отсутствие воздушных пустот 2,0	Условно 2,0	27,8	
2. Сыр плавленый пастообразный с добавлением пшеничных отрубей	Слабовыраженный вкус и запах 13,4	Недостаточно пластичная, воздушная 7,0	Однородный с вкраплениями наполнителя 2,0	Отсутствие воздушных пустот 2,0	Условно 2,0	26,4	
3. Сыр плавленый пастообразный с добавлением смеси - клетчатка + пшеничные отруби	Чистый, выраженный вкус и запах 14,6	Хорошая 8,0	Однородный с вкраплениями наполнителя 2,0	Отсутствие воздушных пустот 2,0	Условно 2,0	28,6	

Примечание:

1. В опытных образцах уменьшено количество наполнителей до 1,0%.
2. Температура плавления выдерживалась 85⁰С.
3. Процесс плавления проводился с остановками до 2-3¹, для улучшения структурообразования сырной плавленной массы.
4. Образцы представлены на реологические исследования.
5. Оценка образцов проводилась на основании ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолеп-
тических показателей»

Подписи:

 О.Н. Мусина
 Н.И. Бондаренко
 Д.А. Усатюк
 Е.Ф. Отт
 С.И. Голобокова
 Т.В. Грянкина

Федеральное государственное бюджетное
 научное учреждение
 «Федеральный Алтайский научный
 центр агротехнологий»
 ИНН 223043971, КПП 22301001
 ОГРН 1032202071505
 656870, Алтайский край, г.Барнаул,
 п.Научный, ул.Совет, 35
 тел.: 426-230, 496-058



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное научное учреждение «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АЛТАЙСКИЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ»
(ФГБНУ ФАНЦА)

п. Научный городок, д.35, г. Барнаул, Алтайский край, 656910
Тел/факс (3852) 49-62-30, e-mail: anishb@mail.ru
ОКПО 71220805; ОГРН 1032202071505; ИНН/КПП 2223043971/222301001

17.08.2022 г.

Экспертный лист по оценке опытных образцов плавленого пастообразного сыра с различными наполнителями

№ п/п	Наименование	Вкус и запах (15)	Консистенция (9)	Цвет (2)	Вид на разрезе (срезе) (2)	Внешний вид (в т.ч. упаковка и маркировка) (2)	Общий балл (30)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сыр плавленый пастообразный с добавлением очищенных овсяных отрубей	Чистый сырный 13,8	Хорошая 8,0	Однородный с вкраплениями наполнителя 2,0	2,0	Усл. 2,0	27,8
2	С добавлением клетчатки пшеничной «Клеопатра»	Хороший, с выраженным сырным ароматом 13,6	Хорошая 8,0	Однородный с вкраплениями наполнителя 2,0	2,0	Усл. 2,0	27,6

1	2	3	4	5	6	7	8
3	С добавлением смеси клетчатки пшеничной «Клеопатра» и очищенных овсяных отрубей	Хороший, выр-женный сырный 14,8	Пластичная 8,0	Однородный с вкраплениями 2,0	2,0	Усл. 2,0	28,8
4	С добавлением ростков молодого ячменя	Специфический, пустоватый, слабо выраженный 11,0	Воздушная 7,0	Однородный, со слабо зеленаватым оттенком 1,0	2,0	Усл. 2,0	23,0
5	С добавлением бетулина	Сырный 12,0	Пластичная 8,0	Однородный 2,0	2,0	Усл. 2,0	26,0

Опытные выработки проводились июле-августе месяцах 2022 г. Особое внимание - время плавления, pH смеси и дозировка указанных наполнителей до 1,5%, дозировка солеплавителей. Использовали два вида солеплавителей № 90 S, № 820. Температура плавления постоянная - 85⁰C.

Подписи:

Мусина О.Н.



Бондаренко Н.И.

Усатюк Д.А.

Голобокова С.И.

Нагорных Е.М.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное учреждение «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АЛТАЙСКИЙ НАУЧНЫЙ
 ЦЕНТР
 АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ»
 (ФГБНУ ФАНЦА)



п. Научный городок, д.35, г. Барнаул, Алтайский край, 656910
 Тел./факс (3852) 49-62-30, e-mail: anish@mail.ru
 ОКПО 71220805; ОГРН 1032202071505; ИНН/КПП 2223043971/222301001

Сводный экспертный лист на плавленый насторообразный обогащенный сыр «Сырше»

Дата 13.10.2022 г.

Экспертная комиссия отдела

Наименование организации отдел СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА

Код пробы, наименование продукта	Органолептические показатели плавленых сыров (характеристика, балл)										Общий балл (30)	Примечание
	Вкус и запах	Максимальный балл (15)	Консистенция	Максимальный балл (9)	Цвет	Максимальный балл (2)	Вид на разрезе (срезы)	Максимальный балл (2)	Внешний вид (в т.ч. упаковка и маркировка)	Максимальный балл (2)		
Обр. №1 плав. сыр	Чистый, сырный, выраженный	14,2	Нежная, пластичная, типичная для этого продукта	8,4	Однородный, характерный	2,0	Отсутствие воздушных пустот и нерастворимых частиц сыра	2,0	Неповрежденная, чистая	2,0	28,6	С добавлением коллагена pH - 5,4
Обр. №2 плав. сыр	Хороший	14,0	Хорошая, слегка пластичная	7,8	Однородный, характерный	2,0	Отсутствие нерастворимых частиц сыра	2,0	Чистая	2,0	27,8	pH - 5,7

Образец № 1 получил органолептическую балльную оценку в 28,6 баллов, отличная нежная консистенция и приятный сырный вы-
раженный вкус.

Примечание: При выработке плавленого пастообразного обогащенного сыра, тщательно проводился подбор сырья - использовался сыр мягкий сливочный с добавлением регулятора кислотности Г.Д.И и в первом образце швессен гидролизованый коллаген.

Плавление сырной массы - это сложный комплекс химических, физико-химических и коллоидных процессов.

Значительным изменением подвергается жир и в плавленом сыре, он хорошо диспергирован и стабилизирован.

Массовая доля жира в сухом веществе вышеказанного сыра - 70,0%

Температура плавления интредентов проводилась при температуре 85-90⁰С с остановками.

Общее время плавления 50 минут, затем постепенное охлаждение до 60⁰С, фасовка и доохлаждение при температуре 8⁰С и структурообразование.

Подписи:

Сулф О.Н. Мусина

Д. Мусина

Н.И. Бондаренко

Е.Ф. Отт

Отт

С.И. Голобокова

О.А. Тинькевич

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
"Федеральный Алтайский научный
центр агробиотехнологий"
ИНН 2223043971, ОГРН 222301001
ОГРН 1032202071505
656010, Алтайский край, г.Барнаул,
г.Буденный проезд, 35
телеф. 436-220, 496-838

Приложение Ж
(справочное)

Оптимизация трехфакторной регрессионной модели

Построим двумерные сечения, зафиксировав один из факторов на постоянном уровне (рисунки Ж.1–Ж.3).

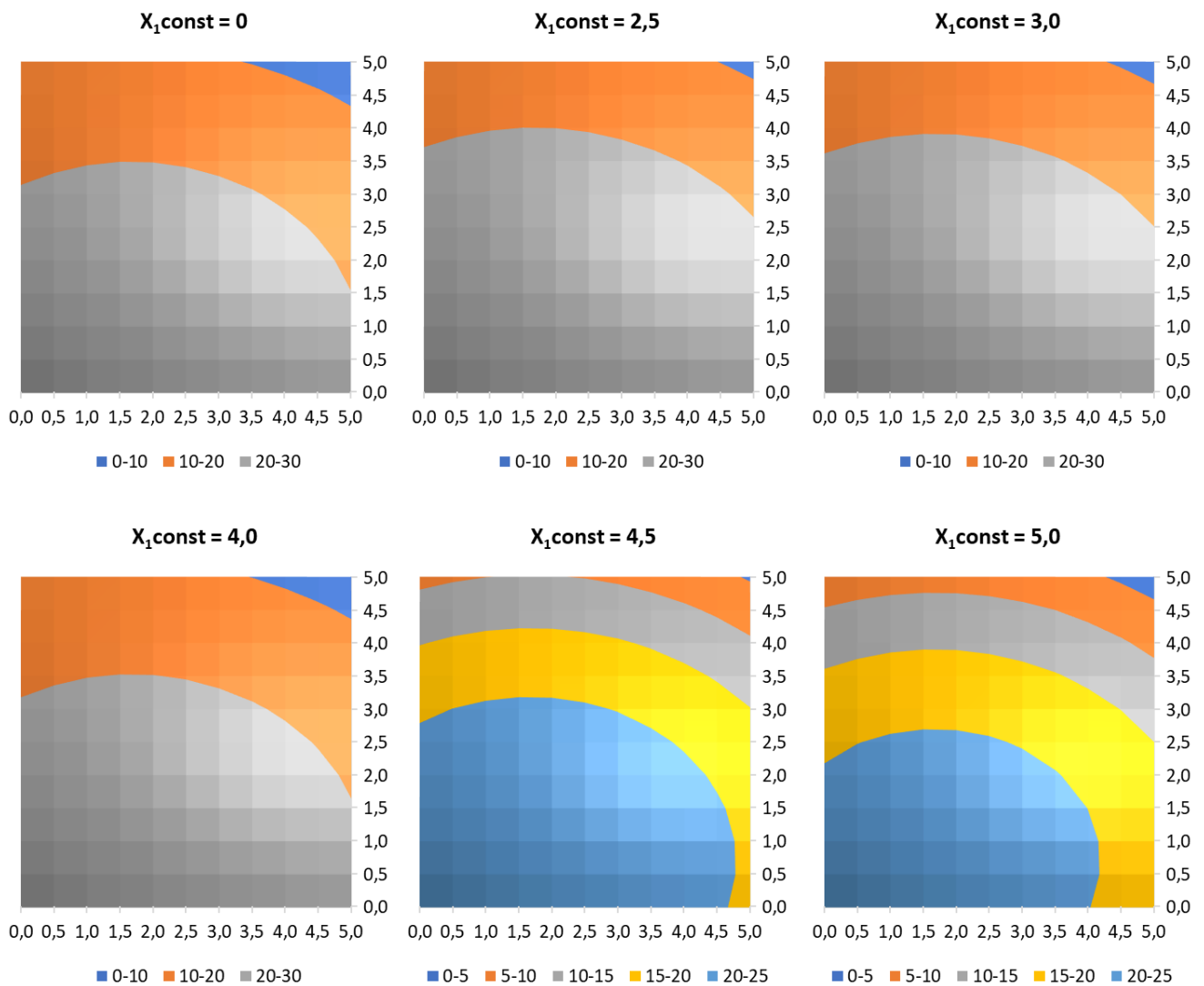


Рисунок Ж.1 – Сечения поверхности отклика с фиксированной переменной x_1

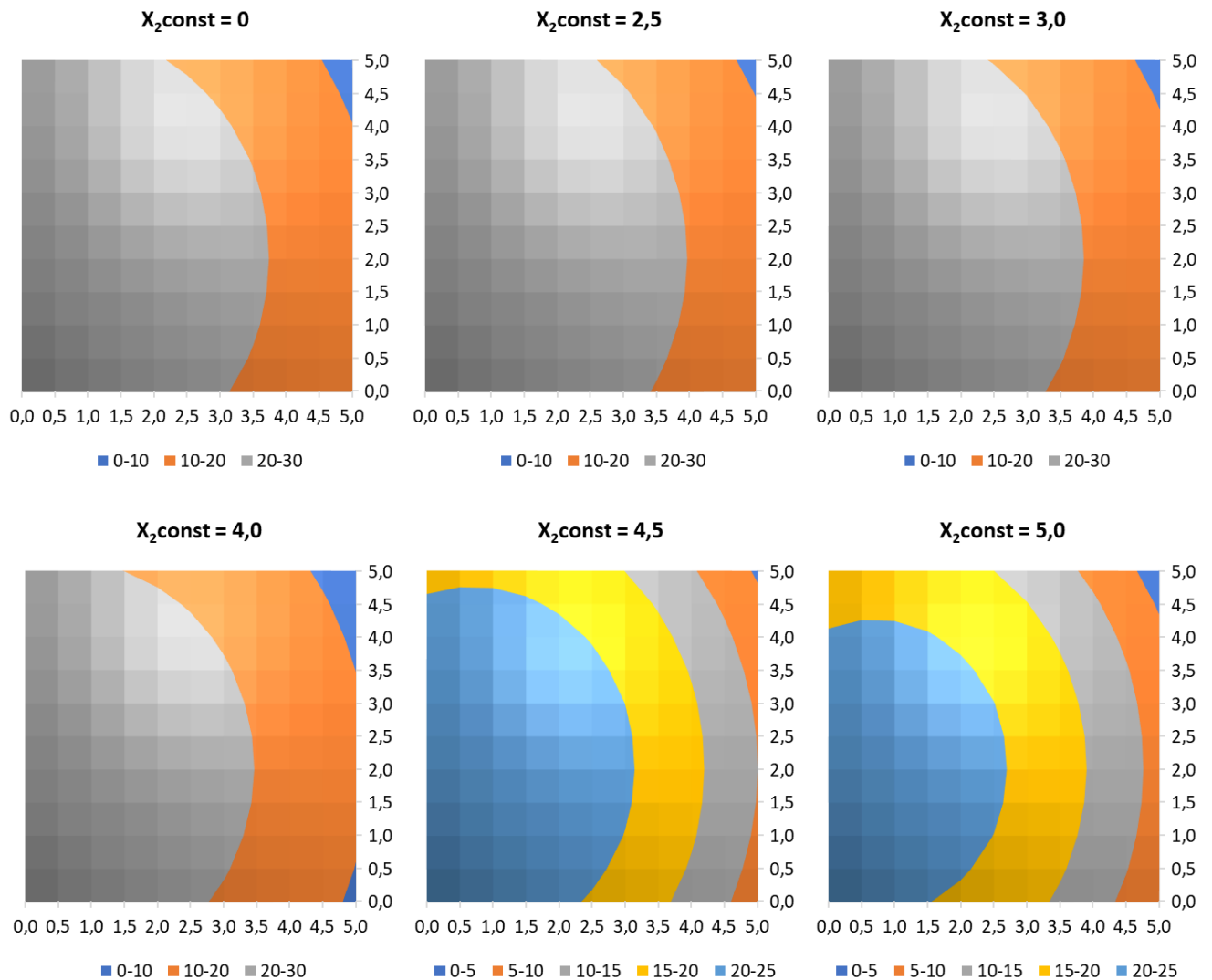


Рисунок Ж.2 – Сечения поверхности отклика с фиксированной переменной x_2

Графики позволяют сравнить влияния факторов: фактор с более крутым наклоном (в нашем случае X_1) оказывает большее влияние на Y , влияние X_2 меньше, чем X_1 , но тоже значимо, а влияние X_3 слабее, чем X_1 и X_2 . При любом из фиксированных факторов максимальные значения отклика находятся ближе к центру плана со смещением, в зависимости от фактора, к началу или к концу диапазона изученных дозировок. Все графики показывают «горб», что подтверждает, что для каждого фактора существует такое оптимальное значение, при котором Y максимален. Необходимо найти эти значения аналитическим путем.

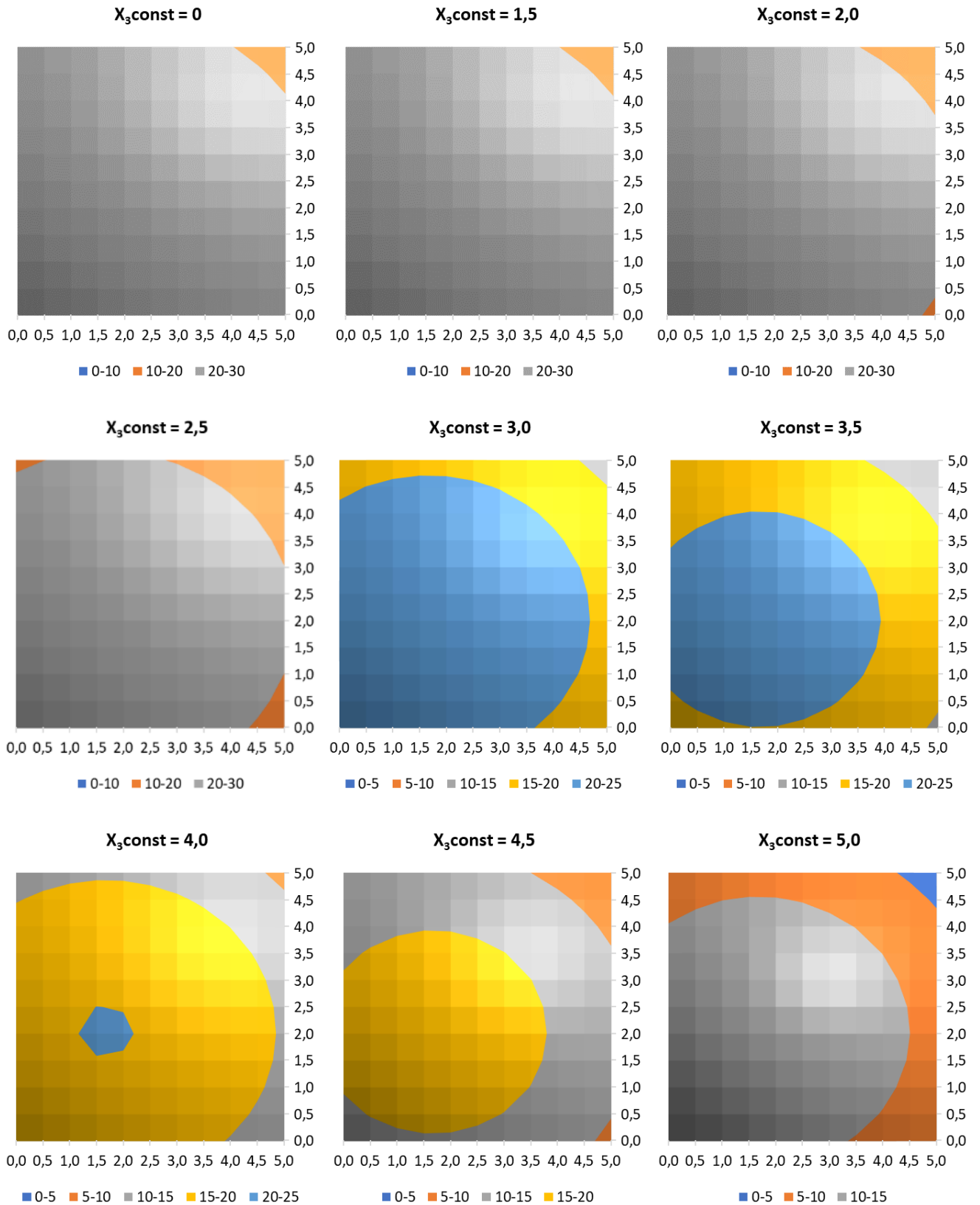


Рисунок Ж.3 – Сечения поверхности отклика с фиксированной переменной x_3

Для нахождения оптимальных уровней факторов вычислим производные по каждому фактору и приравняем их к нулю:

$$\frac{dY}{dX_1} = 0 \Rightarrow x_1^* \approx 3,25 \%;$$

$$\frac{dY}{dX_2} = 0 \Rightarrow x_2^* \approx 2,75 \%;$$

$$\frac{dY}{dX_3} = 0 \Rightarrow x_3^* \approx 1,25 \%.$$

Уточним оптимальные уровни с учетом дополнительных точек. Для коллагена (x_1) по модели оптимум равен 3,25 %, в строке 18 при 3,5 % $Y = 29,0$, следовательно, оптимальный диапазон 3,0–3,5 %, так как отклик стабилен в этом интервале. Для лецитина (x_2) по модели оптимум равен 2,75 %, в строке 16 при 3,0 % $Y = 28,0$, а в строке 18 при 3,0 % $Y = 29,0$, следовательно, оптимальный уровень для лецитина $\approx 3,0$ %. Для отрубей (x_3) по модели оптимум равен 1,25 %, но в строке 18 при 1,5 % $Y = 29,0$, следовательно, оптимальный диапазон 1,0–1,5 %, так как сильный отрицательный квадратичный эффект ограничивает рост отклика и Y падает при $x_3 > 1,5$ %.

Приложение И (справочное)

Акты промышленной апробации и внедрения

**Общество с ограниченной ответственностью
«Сибирское подворье»**
ИНН 2224061638 КПП 222301001 ОГРН 1022201509230 ОКПО 54570283
 Юридический адрес с 12.01.2016 г.
 656063, г. Барнаул, проспект Космонавтов, дом 63/1
 р/с 40702810410140000763, к/с 30101810145250000411 БИК 044525411
 Филиал «Центральный» Банка ВТБ (ПАО) в г. Москве

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ООО «Сибирское подворье»
 _____ Д.В.Ширши
 « 12 » _____ 2022 г.



АКТ

**о выработке пробной партии обогащенного коллагеном плавленого пастообразного сыра в
производственных условиях ООО «Сибирское подворье»**




Мы, нижеподписавшиеся, профессор кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ) д.т.н. Мусина О.Н., аспирант кафедры технологии продуктов питания АлтГТУ Е.М. Нагорных, микробиолог АО «Барнаульский молочный комбинат» Г.Н. Рыжкова составили настоящий акт о том, что 12.12.2022 г. в промышленных условиях ООО «Сибирское подворье» выработана пробная партия плавленого пастообразного сыра, обогащенного гидролизованым коллагеном и сырьем растительного происхождения. Пробная партия сыра произведена в количестве 10 кг на существующей аппаратурно-технологической линии.

Показатели качества образцов соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». Физико-химические показатели образцов плавленого сыра описаны в табл. 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Значение показателя	
Массовая доля жира в сухом веществе, %	55,0	60,0
Массовая доля влаги, %	52,0	50,0
Массовая доля сахарозы, %	6,0	
Массовая доля пищевой соли, %	0,1	
Активная кислотность, ед. рН	6,1	

Подписи:

 Е.М. Нагорных
 О.Н. Мусина
 Г.Н. Рыжкова

Общество с ограниченной ответственностью
«Сибирское подворье»
ИНН 2224061638 КПП 222301001 ОГРН 1022201509230 ОКПО 54570283
Юридический адрес с 12.01.2016 г.
656063, г. Барнаул, проспект Космонавтов, дом 63/1
р/с 40702810410140000763, к/с 30101810145250000411 БИК 044525411
Филиал «Центральный» Банка ВТБ (ПАО) в г.Москве

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Сибирское подворье»

Д.В.Ширнин

«*Ширнин*» 2023 г.

АКТ

о внедрении в промышленное производство технологии получения плавленого пастообразного сыра «Сырте» на базе ООО «Сибирское подворье»

Настоящий акт составлен о том, что научные и практические результаты исследования Е.М. Нагорных, аспиранта кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (научный руководитель д.т.н. Мусина О.Н.) в части технологии получения плавленого пастообразного сыра «Сырте», обогащенного гидролизованным коллагеном, используются в производственной деятельности ООО «Сибирское подворье» (г. Барнаул, Алтайский край, Российская Федерация).

Апробация проводилась на типовом технологическом оборудовании для получения плавленых сыров. Физико-химические, микробиологические и органолептические показатели образцов соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и СТО 02067824-006-2023. Органолептические показатели сыра описаны в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Характеристика показателей	
	Массовая доля жира в сухом веществе, %	
	55,0	60,0
Вкус и запах	Сырный, кисломолочный	Сырный, сливочный, слегка острый
Консистенция	Нежная, пластичная. Однородная по всей массе	Нежная, кремообразная. Однородная по всей массе
Вид на разрезе	Рисунок отсутствует	
Цвет	От белого до желтого	

Настоящий акт подтверждает практическую ценность результатов исследований и в иных целях использован быть не может.

Аспирант

Е.М. Нагорных

Научный руководитель
доктор технических наук

О.Н. Мусина



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: politeh@altgtu.ru

http://www.altgtu.ru

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

29.04.2025 № Увед-125-846

Г 7
УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
д.т.н., профессор
Л.И. Сучкова
2025 г.



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в учебный процесс подготовки бакалавров, магистров, аспирантов по направлению
**19.03.03 Продукты питания животного происхождения, 19.04.03 Продукты питания
животного происхождения, 19.04.04 Технология продукции и организация
общественного питания, 19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии
Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии (ИнБиоХим) АлтГТУ
материалов диссертации Елены Михайловны Нагорных на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3 Пищевые системы**

Мы нижеподписавшиеся, составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы Е.М. Нагорных на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 4.3.3 Пищевые системы (научный руководитель д.т.н. О.Н. Мусина) используются в учебном процессе: в лекционных курсах, при проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Методология и экономическое обоснование проектирования продуктов питания с заданными свойствами и составом», «Биотехнологии в производстве продуктов специализированного назначения», «Исследования в области проектирования новых продуктов», «Технология сыра», «Технология молока и молочных продуктов», «Исследования в области проектирования новых продуктов», «Перспективные направления технологии продукции общественного питания», «Высокотехнологические производства продуктов питания», «Научные основы производства продуктов функционального и специализированного назначения», «Общая нутрициология».

В частности, в учебном процессе используются следующие РИД соискателя:

- База данных «Рецептуры плавленых сыров» (свидетельство № 2023620806) и «Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров» (свидетельство №2023618007).

Руководитель УГНС
19.00.00 Промышленная экология и биотехнология,
Проректор по НИР, к.х.н., доцент

Директор ИнБиоХим, к.т.н., доцент

А.А. Беушев

Ю.С. Лазуткина



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: politeh@altgtu.ru

http://www.altgtu.ru

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

29.04.2025 № 11хл0-1д5-844

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе,

д.т.н, профессор

Л.И. Сучкова

2025 г.



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в процесс подготовки выпускных квалификационных работ бакалавров, диссертаций магистров и аспирантов по направлению 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, 19.04.03 Продукты питания животного происхождения, 19.04.04 Технология продукции и организация общественного питания, 19.06.01 Промышленная экология и биотехнологии Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии (ИнБиоХим) АлтГТУ материалов диссертации Елены Михайловны Нагорных на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3 Пищевые системы

Мы нижеподписавшиеся, составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы Е.М. Нагорных на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 4.3.3 Пищевые системы (научный руководитель д.т.н. О.Н. Мусина) используются при подготовке выпускных квалификационных работ научно-исследовательского характера, магистерских диссертаций и научных докладов аспирантов.

Отдельные результаты работы получены и использованы при выполнении Государственного задания № 075-00316-20-01 «Создание наилучших доступных технологий производства функциональных продуктов питания на основе фундаментальных исследований, глубокой переработки сырья животного и растительного происхождения с использованием инструментария цифровой экономики» (Пер. № НИОКТР АААА-А20-120032390002-8, FZMM-2020-0013, срок реализации 2020-2023 гг.), Государственного задания № 075-03-2024-105 Научное обоснование нутрициологической поддержки групп населения, находящихся под воздействием экстремальных факторов, на примере импортозамещающих пищевых систем для Арктической зоны Российской Федерации (Пер. № НИОКТР 124013000666-5, срок реализации 2024-2026 гг.).

Руководитель УГНС

19.00.00 Промышленная экология и биотехнология,

Проректор по научной и инновационной работе,

к.х.н., доцент

Директор института биотехнологии, пищевой
и химической инженерии, к.т.н., доцент

А.А. Беушев

Ю.С. Лазуткина



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: politeh@altgtu.ru

http://www.altgtu.ru

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

29.04.2025 № Ислб-125-844

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
инновационной работе,

к.т.н., доцент

А.А. Беушев

2025 г.



**АКТ О ВНЕДРЕНИИ
информационной системы «Рецептуры плавленных сыров»**

Мы нижеподписавшиеся, составили настоящий акт о том, что информационная система, включающая базу данных «Рецептуры плавленных сыров» и «Программу для управления электронным справочником рецептов плавленных сыров», разработанная д.т.н., профессором кафедры ТПП Мусиной О.Н., аспирантом кафедры ТПП Нагорных Е.М. внедрены в испытательном центре пищевых продуктов инженерингового центра «ХимБиоМаш».

Процесс внедрения проходил с 01 июня 2022 по 15 апреля 2023 г.

Информационная система позволяет пользователю на основе данных о внесенных рецептурах плавленных сыров отбирать рецептуры по различным критериям и их сочетаниям, а также проектировать рецептуры новых плавленных сыров, в том числе обогащённых и функциональных.

В ходе эксплуатации информационной системы подтверждено, что она обладает всеми заявленными возможностями.

Директор инженерингового центра «ХимБиоМаш»,
к.т.н., доцент

В.А. Федоров

Декан факультета информационных технологий
к.т.н., доцент

А.С. Авдеев

УТВЕРЖДАЮПроректор по научной и
инновационной работе,

к.т.н., доцент

А.А. Беушев

2025 г.

«20»

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ «РЕЦЕПТУРЫ ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ»***для испытательного центра пищевых продуктов
инжинирингового центра «ХимБиоМаш»*Разработано:
Аспирант кафедры ТПП

Е.М. Нагорных

Согласовано:

Директор инжинирингового центра «ХимБиоМаш»,
к.т.н., доцент

В.А. Федоров

Декан факультета информационных технологий,
к.т.н., доцент

А.С. Авдеев



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: politeh@altgtu.ru

http://www.altgtu.ru

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

29.04.2025 № 11х0-125-873

На № _____ от _____

Г

Г

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
инновационной работе,

к.т.н, доцент

А.А. Беушев

2025 г.

А.А. Беушев



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

Мы нижеподписавшиеся, составили настоящий акт о том, что база данных «Рецептуры плавленых сыров» (свидетельство № 2023620806), разработанная д.т.н, профессором кафедры ТПП Мусиной О.Н., аспирантом кафедры ТПП Нагорных Е.М. внедрены в лаборатории «Центр комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт».

Процесс апробации и внедрения проходил с 20 апреля 2024 по 01 июня 2024 г.

База данных обладает следующими возможностями: работа с рецептурами плавленых сыров (редактирование, добавление и удаление информации о рецептурах на плавленые сыры, может применяться как электронный справочник технолога, нутрициолога, специалиста пищевой отрасли.

В ходе эксплуатации базы данных подтверждено, что она обладает всеми заявленными возможностями.

Директор инжинирингового центра
«ХимБиоМаш», к.т.н., доцент

В.А. Федоров

В.А. Федоров

Руководитель лаборатории «Центр комплексных
исследований и экспертной оценки качества
пищевой продукции «АлтайБиоЛакт», к.т.н.

А.В. Снегирева

А.В. Снегирева