**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**
**«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**
**(ФГАНУ «ВНИМИ»)**

**На правах рукописи**

**ШЕРСТНЕВА НАТАЛЬЯ ЕВГЕНЬЕВНА**

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

Специальность 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: кандидат технических наук
ФГАНУ «ВНИМИ»
Рязанцева К.А.

Москва 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

**Введение** ..... 4
**Глава 1. Обзор состояния проблемы** ..... 9
1.1. Применение полимеризованных сывороточных белков в технологии молочных продуктов ..... 9
1.2. Обоснование применения ультрафиолетового облучения для обработки молочного сырья ..... 15
1.3. Бактерицидный эффект ультрафиолетового излучения ..... 21
1.4. Влияние ультрафиолетового излучения на физико-химические показатели молока ..... 28
1.5. Применение ультрафиолетового излучения для улучшения техно-функциональных свойств молочных продуктов ..... 38
Заключение к литературному обзору ..... 40
**Глава 2. Объекты и методы исследований** ..... 42
2.1. Организация проведения исследований ..... 42
2.2. Объекты исследований ..... 43
2.3. Используемое в работе оборудование ..... 43
2.4. Методы исследований ..... 45
**Глава 3. Экспериментальная часть** ..... 51
3.1. Оценка воздействия ультрафиолетового облучения на физико-химические показатели растворов концентрата сывороточных белков ..... 51
3.2. Оценка влияния ультрафиолетового облучения на процесс сквашивания раствора концентрата сывороточных белков ..... 55
3.3. Изучение влияния узкого диапазона доз ультрафиолетового облучения на физико-химические и микробиологические свойства растворов концентратов сывороточных белков ..... 67
3.4. Оценка влияния ультрафиолетовой обработки на технологические свойства сквашенных модельных систем ..... 72
3.5. Оптимизация ультрафиолетовой обработки раствора КСБ для его применения в технологии кисломолочного продукта ..... 77

3.6. Определение комплекса показателей проектируемого кисломолочного продукта ..... 96
3.7. Разработка технических условий на продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка..... 101
**Основные результаты работы и выводы** ..... 103
**Список используемой литературы** ..... 105
**Список сокращений, приведенных в работе** ..... 124
**Приложения** ..... 125
Приложение А Титульный лист ..... 126
Приложение Б Акт о внедрении научно-исследовательской работы на ООО «Южский молочный завод» ..... 127
Приложение В Диплом конкурса «Эстафета поколений 2014» ..... 128
Приложение Г Диплом ..... 129

# Введение

## Актуальность работы

В соответствии со стратегией НТР РФ, одним из ее приоритетов является эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных продуктов питания. В этой связи перспективным является применение новых нетепловых технологий, в частности, ультрафиолетового (УФ) облучения молочной сыворотки и продуктов ее переработки. Согласно литературным данным, в зависимости от дозы облучения, УФ обработка может вызывать денатурацию и полимеризацию сывороточных белков, что потенциально будет способствовать улучшению их структурно-механических свойств и сделает ценными пищевыми ингредиентами в технологии кисломолочных продуктов. Кроме того, УФ облучение вызывает интерес в качестве дополнительного способа инактивации патогенной микрофлоры в комбинации с традиционной пастеризацией.

Термическая обработка является неотъемлемой частью технологий молочных продуктов. Она оказывает значительное влияние как на их микробиологическую безопасность, так и на технологические и структурно-механические показатели. Тем не менее, высокотемпературная обработка может оказывать негативное влияние на коллоидную стабильность продуктов, в том числе и на белки молочной сыворотки. В этой связи УФ облучение вызывает интерес как способ обработки в комбинации с традиционной пастеризацией, обеспечивающий микробиологическую безопасность и улучшающий структурно-механические свойства продукта

Изучению воздействия УФ обработки на физико-химические и органолептические показатели молока, молочной сыворотки и ее производных посвятили свои научные труды такие учёные как Гаврюшенко Б.С., Харитонов В.Д., Buhler S., Díaz O, Kristo E, Kuan Y.H., Matak K.E., Scheidegger D., Siddique M. A. B.

Исследование влияния УФ облучения на микробиологическую безопасность продуктов и упаковки рассмотрено в работах Мяленко Д.М., Федотовой О.Б.,

Харитонова В.Д., Черных Е.А., Юровой Е.А., Cappozzo J. C. Krishnamurthy K., Lacivita V., Makarapong D. и других ученых.

Учитывая вышеизложенное, разработка кисломолочного продукта с использованием модифицированных УФ воздействием сывороточных белков позволит получить новые знания об изменении свойств молочной сыворотки под воздействием УФ облучения и расширить ассортимент молочной продукции с улучшенными структурно-механическими свойствами, что является актуальным.

**Цель и задачи исследования**

Целью работы являлось создание технологии кисломолочного продукта с улучшенными технологическими и структурно-механическими свойствами, предусматривающей внесение модифицированных УФ облучением сывороточных белков.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- провести литературный анализ и обосновать актуальность исследований по теме диссертационной работы;
- установить зависимость влияния дозы УФ облучения растворов концентрата сывороточных белков (КСБ) на их физико-химические показатели и структурные изменения;
- установить зависимость влияния дозы УФ облучения на комплекс показателей модельных кисломолочных систем на основе КСБ;
- разработать и провести оптимизацию УФ обработки раствора КСБ для внесения его в рецептуру кисломолочного продукта;
- установить зависимости технологических, структурно-механических, физико-химических, органолептических показателей кисломолочных продуктов от дозы УФ облучения;
- разработать технологию и комплект технической документации на продукт кисломолочный с повышенным содержанием белков и провести его промышленную апробацию.

**Научная новизна**

Теоретически обоснована целесообразность модификации сывороточных белков путем их ультрафиолетовой обработки и определены рациональные дозы облучения.

Установлены закономерности содержания β-лактоглобулина и свободных сульфгидрильных групп, растворимости белка, а также поверхностного натяжения растворов концентрата сывороточных белков от дозы УФ облучения и концентрационных параметров среды.

Выявлены зависимости структурно-механических характеристик, физико-химических и микробиологических показателей модельных кисломолочных систем с повышенным содержанием белка от режимов УФ обработки растворов концентрата сывороточных белков.

Определены оптимальные параметры УФ обработки раствора концентрата сывороточных белков с учетом условий последующего трансфера результатов в технологии кисломолочного продукта.

Установлены закономерности формирования качественных показателей кисломолочного продукта с повышенным содержанием белка от режимов УФ обработки растворов концентрата сывороточных белков в процессе хранения.

**Теоретическая и практическая значимость**

Теоретически и экспериментально обосновано применение УФ облучения для направленной модификации раствора КСБ и последующего формирования технологических и структурно-механическими свойств кисломолочных продуктов.

Разработано техническое задание и создана принципиально новая стендовая установка для УФ обработки молочного сырья в тонком слое потока 400 мкм.

Разработан технологический процесс УФ обработки раствора КСБ и получения кисломолочного продукта с использованием модифицированных белков молочной сыворотки.

Разработан комплект ТД (ТУ 10.51.52-083-00419785-2022, ТИ на продукт «Продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка»). Осуществлен выпуск опытной партии продукта на ООО «Южский Молочный Завод».

**Степень достоверности и апробации работы**

Достоверность полученных экспериментальных данных подтверждается математически обоснованной многократностью проведенных опытов и соответствием полученных данных общепринятым представлениям в данном направлении науки. Анализ материала применялся с использованием пакетов программ для ЭВМ Statistica 10.0.

Диссертационная работа выполнена соискателем самостоятельно, включая анализ литературных источников, постановку проведения исследований, получение и обобщение теоретических и экспериментальных данных, формулирование основных результатов и выводов. Соавторство по ряду этапов отражено в списке публикаций.

**Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и доложены на VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов» (Видное, 2014), IX Международной конференции молодых ученых и специалистов «Повышение качества, безопасности и конкурентоспособности продукции агропромышленного комплекса в современных условиях» (Москва, 2015 г.), X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН «Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России» (Москва 2016 г.) – работа отмечена дипломом федерального агентства научных организаций, лауреата конкурса на лучшую научно-исследовательскую работу, X Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 2016 г.), Национальной (Всероссийской) конференции «Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность» (Кемерово, 2020 г.), Международной научно-практической конференции «Молоко и молочная продукция: актуальные

вопросы производства» (Углич, 2021), XVIII Международной научно-практической конференции «Пища. Экология. Качество.» (Краснообск, 2021).

**Публикации**

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из которых 4 в изданиях, рекомендованных списком ВАК РФ, 1 в WoS.

**Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, выводов и перечня использованных литературных источников. Работа изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц и 40 рисунков. Список литературы включает 145 источников, из них 40 отечественных и 105 зарубежных авторов.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

## 1.1. Применение полимеризованных сывороточных белков в технологии молочных продуктов

Молочная сыворотка, получаемая при производстве сыра, творога или казеина, является ценным источником пищевых веществ, в частности сывороточных белков, обладающих высокой пищевой и биологической ценностью [1–3]. Основной сывороточный белок β-лактоглобулин является источником незаменимых аминокислот, имеет высокую скорость расщепления под действием протеолитических ферментов, а также высокую степень усвояемости [1]. Разработке технологий продуктов переработки молочной сыворотки посвящено множество научных исследований. В работе Храмцова А.Г. приводится широкий спектр продуктов, производимых их молочной сыворотки в различных отраслях пищевой промышленности (рисунок 1.1) [4].

Известны три основных направления промышленной переработки молочной сыворотки: полное использование всех компонентов сыворотки (напитки, в том числе сквашенные; сгущенные и сухие продукты); фракционирование сухих веществ молочной сыворотки с применением мембранных методов для производства концентратов и изолятов сывороточных белков, микропартикулятов, лактозы, сухого пермеата, минеральных солей [5–8]; получение производных компонентов молочной сыворотки (гидролизаты сывороточных белков, глюкозо-галактозные сиропы, лактулоза и др.) [1,5,9,10]. Для обогащения продуктов питания, а также придания им новых функционально-технологических свойств, все больше вызывает интерес модификация сывороточных белков, предусматривающая их частичную денатурацию, агрегацию и последующую полимеризацию. Наиболее изученным методом полимеризации сывороточных белков является тепловая обработка. Сывороточные белки образуют полимеры при нагревании до температуры, превышающей температуру денатурации [11]. Тепловая обработка растворов сывороточных белков может вызывать частичное

или полное развертывание третичной конформации глобулярного белка, обнажая скрытые гидрофобные аминогруппы на поверхности [12].

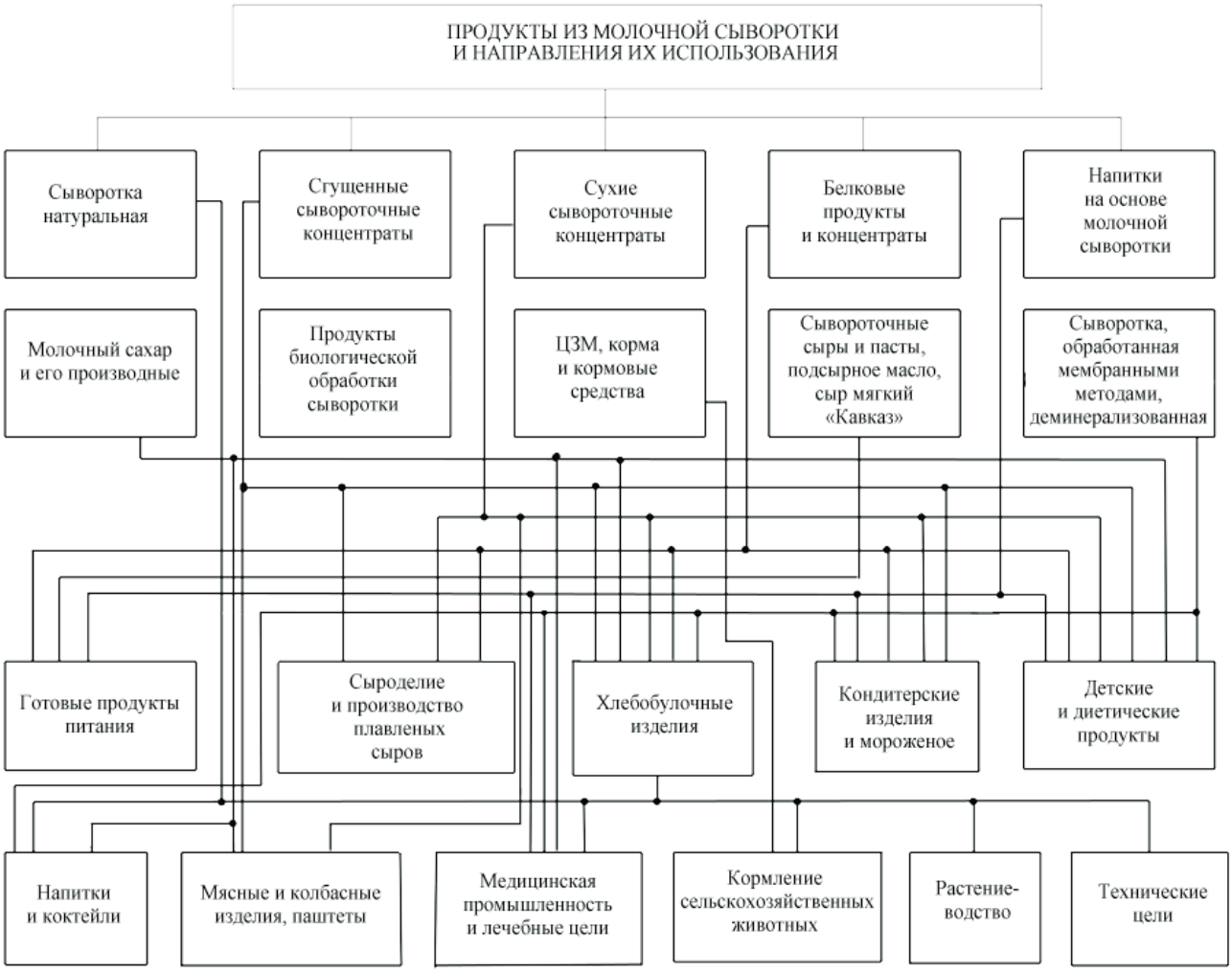



Рисунок 1.1 – Спектр производимых продуктов из молочной сыворотки [4]

Молекулы β-глобулина способны к реакциям полимеризации между его мономерами, агрегации полимеров с χ-казеином и (или) с α-лактальбумином [13,14]. В работе Мельниковой Е.И. и Kandasamy S. описывается поэтапный процесс денатурации сывороточных белков, главным образом, β-лактоглобулина, в результате тепловой обработки растворов концентрата или изолята сывороточных белков (ИСБ) (рисунок 1.2) [15,16]. В нативных сывороточных белках большая часть гидрофобных и сульфгидрильных групп скрыта в центре белковой молекулы [16]. На первом этапе при температуре 40 °С происходит распад димеров β-лактоглобулина, сопровождающийся разрывом гидрофобных и водородных связей. Денатурация при температуре выше 65 ºС обнажает

гидрофобные и тиоловые группы белков с образованием трехмерной сети, которая способствует образованию межмолекулярных S-S связей и гидрофобным взаимодействиям, в результате чего происходит образование небольших агрегатов [16]. Образующиеся свободные сульфгидрильные группы способствуют дальнейшему процессу денатурации, расщепляя внутримолекулярные дисульфидные связи. Температуры, необходимые для необратимой денатурации β-Lg и α-La, составляют 69 и 80 °C соответственно [17]. Последовательное повышение температуры приводит к образованию новых нековалентных связей и вызывает необратимую денатурацию белка с формированием высокомолекулярных агрегатов – полимеризацию. β-лактоглобулин играет ключевую роль в полимеризации, что определяет степень денатурации сывороточных белков [16].

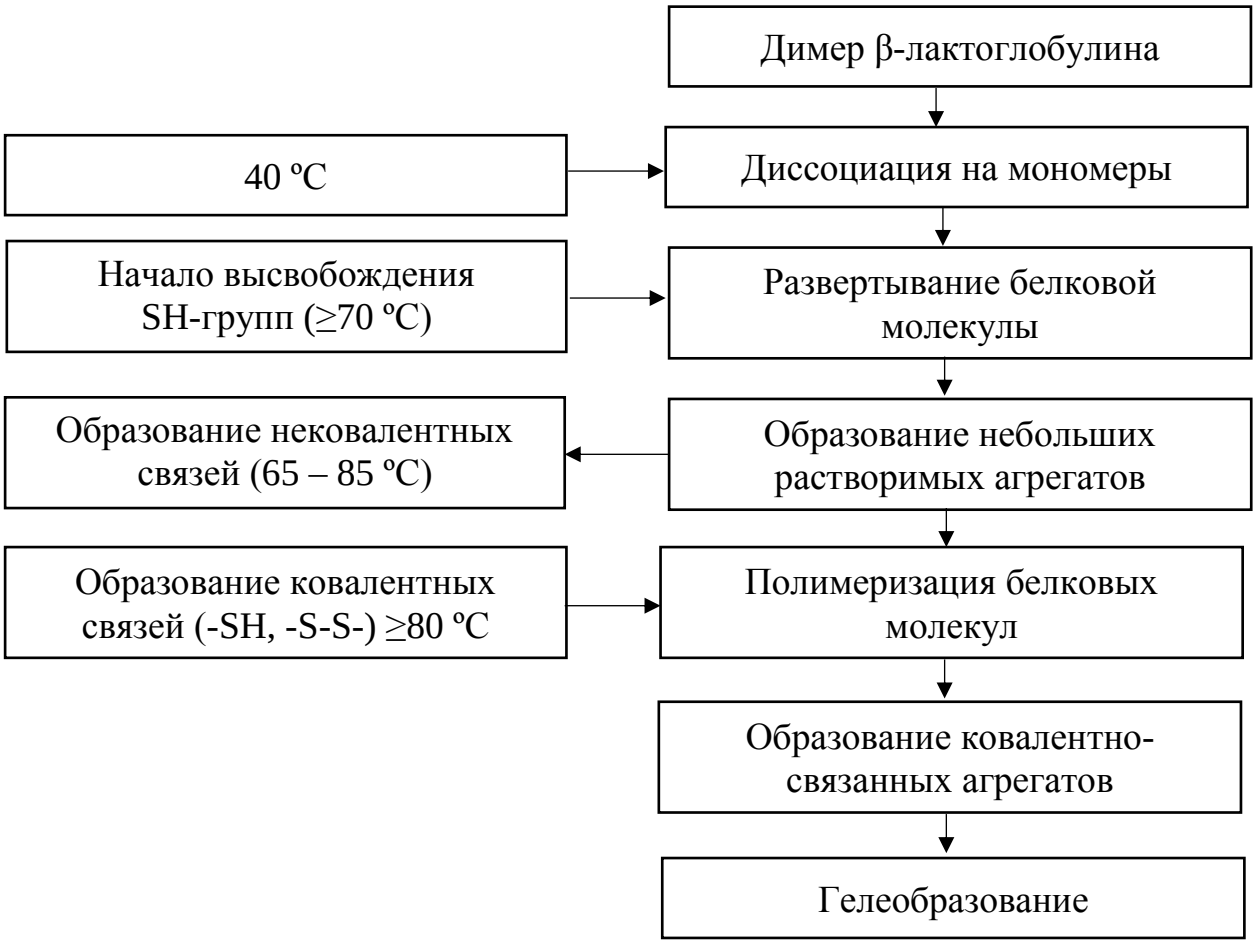



Рисунок 1.2 – Схема процесса денатурации β-лактоглобулина под воздействием тепловой обработки

Кроме того, на скорость агрегации также влияют свободные сульфгидрильные группы, высвобождающиеся только из β-лактоглобулина [17].

Дальнейший рост агрегатов происходит вследствие броуновского движения мелких денатурированных частиц белка и их последующего столкновения друг с другом [15]. Крупные агрегаты белков быстро и беспорядочно объединяются и осаждаются из раствора.

Полимеризованные сывороточные белки (ПСБ) находят свое применение в качестве ингредиентов для получения стойких пенных масс, для получения кисломолочных продуктов с повышенной вязкостью и меньшим синерезисом, а также в технологии пленочных покрытий для усиления их прочностных свойств [18].

В исследовании Jiang S. с соавторами оценивали эмульгирующую способность и стабильность растворимых агрегатов КСБ и ИСБ. Для этого растворы сывороточного белка (8, 10, 12 мас./об.%) нагревали при температурах (80, 85, 90 °C) в течение 30 мин. Не смотря на то, что содержание свободных сульфгидрильных групп, дзета-потенциал и индекс эмульгирующей активности ПСБ были ниже, чем у нативного, вязкость ПСБ увеличивалась с повышением температуры и концентрации белка. Кроме того, индекс эмульгирующей активности и индекс стабильности эмульсии полимеризованного изолята сывороточного белка были выше, чем у полимеризованного концентрата сывороточного белка. Результаты показали, что тепловая обработка индуцирует образование крупных белковых агрегатов [12].

В патенте № 2670074 C2 раскрывается способ стабилизации пищевой пены путем агрегации сывороточных белков. Данный метод предусматривает денатурацию и желирование предварительно гидратированного сывороточного белка путем нагрева с последующей сушкой и измельчением [19]. Полученные агрегированные частицы сывороточного белка применяли в концентрации от 1,5 до 8 мас.% в расчете на общую массу для стабилизации пищевой пены.

В работе Мельниковой Е.И. описывается метод термомеханической обработки (микропартикуляция) растворов сывороточных белков, позволяющий

изменять их структуру, имитирующую свойства жира в различных продуктах питания [15]. Ранее в схожей работе Fang T. изучали влияние ПСБ, полученных непосредственно из подсырной сыворотки, на физико-химические, текстурные и сенсорные свойства обезжиренного йогурта [20]. В своем исследовании авторы последовательно подвергали подсырную сыворотку пастеризации, предварительной фильтрация, микрофильтрации, ультрафильтрации и электродиализу для получения концентрированного раствора с содержанием белка ≈ 10,0%. Большая часть (≈72%) гранулометрического состава ПСБ (70°C в течение 10 мин, pH 7,0), полученного непосредственно из сыворотки, находилась в диапазоне 1-3 мкм. ПСБ (1,4% белка, w/w) добавляли в обезжиренное молоко в качестве заменителя жира. Текстуру, кажущуюся вязкость и сенсорные свойства образцов йогуртов анализировали в сравнении с полножирными (3,0% жира по массе), нежирными (1,0% жира по массе) и обезжиренными (0% жира по массе) йогуртами. Нежирный йогурт, инкорпорированный с ПСБ (1,4% белка, w/w), имел сопоставимые сенсорные и текстурные характеристики с нежирным (1,0% жира, w/w) йогуртом. Таким образом, авторы работы рекомендуют полученный по технологии мембранного разделения из подсырной сыворотки ПСБ использовать в качестве заменителя жира для разработки нежирного йогурта и других обезжиренных ферментированных молочных продуктов [20]. В работе Bierzuńska P. был разработан пробиотический йогурт с добавлением ПСБ. Для получения ПСБ сухой КСБ 80 (94,35 г) растворяли в холодной очищенной воде (230 мл) и выдерживали при 4°C в течение 12 часов [21]. pH дисперсии доводили до 7,0 с помощью 0,1 M NaOH при 21 °C. Затем раствор нагревали при 85°C в течение 30 мин и быстро охлаждали до комнатной температуры в ледяной воде при перемешивании. По результатам исследований авторами было установлено, что йогурт с модифицированными белками по сравнению с контролем имел на 5,3% более высокую влагоудерживающую способность (ВУС). Кроме того, опытный образец был стабильным с точки зрения синерезиса, текстуры и органолептических свойств в течение 21 дня хранения при температуре (3 ± 0,5) °C. Полимеризация

белков молочной сыворотки в йогурте привела и усилению сливочного вкуса в 2,5 раза [22].

В исследовании Wang C. оценивали влияние ПСБ и β-циклодекстрина на органолептические показатели и свойства текстуры ферментированного козьего молока. Йогурты, приготовленные с 0,3% β-циклодекстрином, показали более высокую ($p < 0,05$) кажущуюся вязкость, чем йогурты с ПСБ. При этом комбинация 0,6% ПСБ и 0,3% β-циклодекстрина обеспечивала более желательную текстуру и консистенцию ферментированного козьего молока. Результаты показали, что полимеризованный сывороточный белок можно использовать для улучшения органолептических показателей и текстуры ферментированного козьего молока [23].

В исследовании Wang H. в качестве загустителей в технологии кисломолочных продуктов применяли ПСБ в комплексе с низкометоксильным пектином. Кластерный анализ показал, что внесение данных компонентов увеличивает распределение частиц по размерам и улучшает реологические свойства исследуемых кефирных продуктов. Авторы установили, что ПСБ взаимодействует с казеиновой сетью с образованием плотной структуры, не изменяя органолептические показатели продукта [24].

Как упоминалось ранее, ПСБ широко используется в качестве основы для пленочных покрытий, основную роль в которых играют как водородные, так и дисульфидные связи. Ковалентное сшивание, вызванное тепловой денатурацией в белках, ответственно за снижение растворимости, повышенную механическую стойкость и барьерные свойства пленок [16]. Помимо тепловой обработки, для полимеризации сывороточных белков в технологии пленок могут быть использованы нетепловые методы, например, гамма (γ) облучение. Ионизирующее облучение, такое как γ-облучение, вызывает необратимые конформационные модификации белков за счет окисления аминокислот, образования свободных радикалов в белках, разрыва ковалентных связей, реакций рекомбинации и полимеризации. γ-облучение создает дитирозиновые мостики между белковыми цепями, что приводит к образованию нерастворимых и стерильных пленок [25].

Ультрафиолетовое (УФ) излучение также может быть использовано для формирования пленки путем ковалентного сшивания сывороточных белков [26,27]. Двумя наиболее важными последствиями индуцированного УФ излучением окисления белков молока являются развертывание и агрегация. Тем не менее степень денатурации после УФ обработки менее интенсивна, чем при термическом воздействии [28]. При УФ-обработке двойные связи и ароматические кольца приводят к свободнорадикальному образованию аминокислотных остатков, которые создают новые поперечные связи для образования белково-пленочной сети. Поскольку с увеличением дозы УФ облучения улучшаются межбелковые взаимодействия, в пленках повышаются прочностные характеристики [25,29].

Таким образом, обобщая литературные данные можно заключить, что полимеризованные сывороточные белки широко используются для улучшения структурных и органолептических показателей пенных масс, кисломолочных продуктов, а также для повышения прочностных характеристик пленочных покрытий. При этом в технологии пленочных покрытий для достижения требуемых физико-механических показателей предпочтительнее применение УФ облучения вследствие лучшего структурирования сывороточных белков [16,28]. Учитывая данный факт, представляет интерес изучение научно-технической литературы о влиянии УФ излучения на микробиологические и физико-химические показатели молока-сырья, в том числе белки молочной сыворотки, для применения данного нетеплового процесса в технологии кисломолочных продуктов.

## 1.2. Обоснование применения ультрафиолетового облучения для обработки молочного сырья

Методы термической обработки являются неотъемлемой частью молочной промышленности при производстве молока и молочных продуктов, основной задачей которых является достижение требуемой микробиологической безопасности [30]. Поступающее на переработку молоко-сырье подвергается целому ряду специфических приемов обработки, которые по отдельности или в

определенной совокупности призваны сохранить некоторые нативные свойства и видоизменить в нужном направлении другие показатели молока.

Несмотря на свою эффективность, тепловая обработка может негативно повлиять на продукты питания из-за изменения органолептических свойств, таких как цвет, текстура и вкус [28,31]. Кроме того, это может привести к, например, снижению содержания некоторых биоактивных соединений, ферментативной инактивации, потере витаминов, окислению липидов, что приводит к ухудшению качества пищевых продуктов [32]. Еще одним недостатком является то, что термическая обработка требует высокого энергопотребления, что может повлиять на конечную стоимость продукта и подставить под вопрос обеспечение прибыльности отрасли [33]. В связи с вышеизложенным, а также с растущим интересом потребителей на натуральные продукты питания, особое внимание в последние 10 лет уделяется изучению нетермических способов обработки, таких как импульсные электрические поля, высокое давление и ультрафиолетовое облучение. Эти методы физической обработки являются экологически чистыми и нетоксичными. Основными преимуществами нетепловых процессов являются низкие температуры обработки, сохранение качества продуктов, питательных веществ, а также инактивация патогенной микрофлоры. В то же время, для сохранения питательной ценности компонентов молока и молочной сыворотки в настоящее время за рубежом все более востребованной становится технология УФ обработки [34–38]. Поскольку сыворотку часто приходится хранить в течение некоторого времени перед переработкой в концентрат или изолят сывороточных белков, во избежание лишней термической обработки УФ облучение применяют для обеспечения ее микробиологической безопасности [39].

УФ излучение – это электромагнитная энергия, которая находится в спектре от 100 до 400 нм на длинах волн между рентгеновскими лучами и видимым светом. УФ-спектр существует в трех диапазонах: УФ-А (от 315 до 400 нм), УФ-В (от 280 до 315 нм) и УФ-С (от 100 до 280 нм). Граница между УФ-В и УФ-С обусловлена тем, что свет с длиной волны менее 290 нм не достигает поверхности Земли, поскольку земная атмосфера, благодаря кислороду и озону, выполняет роль

эффективного природного светофильтра. Граница между УФ-В и УФ-А основана на том, что излучение короче 320 нм вызывает гораздо более сильную эритему (покраснение кожи), чем свет в диапазоне 320-400 нм [40,41].

УФ излучение успешно применяется для дезинфекции воды и пастеризации фруктовых напитков, таких как соки, являясь одной из перспективных недорогих и энергоэффективных нетепловых технологий [42–49]. Широко распространено обеззараживание ультрафиолетовым облучением упаковочных материалов [50–53]. УФ излучение также используется для обеззараживания воздуха и поверхностей, что является актуальным в сфере медицины, транспорта, промышленных предприятий и т.д. Требуемая УФ-доза для инактивации SARS-CoV-2 (COVID-19) при эффективности обеззараживания 99,9% составляет 25 мДж/см2 согласно рекомендациям Министерства здравоохранения РФ от 07.05.2021 и Национальной ассоциации специалистов по контролю инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи от 14.05.2020.

Облучение коротковолновым УФ-излучением обладает отличными бактерицидными свойствами, способствующими уничтожению множества патогенных микрооорганизмов (например, бактерии, грибки, плесень, дрожжи и вирусы) [54–59]. Обработка УФ зависит от способности УФ-света (253,7 нм) проникать через клеточную стенку патогенных микроорганизмов, затем блокирование транскрипции и репликации ДНК за счет образования димеров тимина, препятствующих росту и размножению клетки [60–63]. Также преимуществами данной технологии является низкая стоимость обслуживания, минимальное потребление энергии и сохранению состава продуктов без некоторых нежелательных эффектов тепловой обработки.

Ограниченная способность УФ-С света проникать в мутные жидкости до недавнего времени считалась одним из основных препятствий в мировой практике для его использования в качестве нетепловой технологии для обработки молока [64]. В сравнении с водой молоко или молочная сыворотка имеют разные оптические и физические свойства, а также химический состав, влияющие на проникновение УФ излучения в продукт из-за присутствия большого количества

поглощающих УФ-С соединений и взвешенных частиц, тем самым ухудшая процесс дезинфекции. Доза УФ облучения является произведением интенсивности света и продолжительности воздействия. Интенсивность света в каждой точке объема жидкости зависит как от мощности ламп, так и от эффекта проникновения УФ света через жидкую среду. Молоко и сыворотка имеют высокий коэффициент поглощения УФ-С излучения, которое проникает в жидкость всего на несколько миллиметров, а не на несколько сантиметров, как в случае воды [65,66].

Однако правильный источник УФ излучения, а также конструкция самого модуля могут повысить эффективность инактивации микроорганизмов как за счет увеличения проникновения излучения в жидкость, так и за счет использования более высокой интенсивности УФ излучения [67]. Существует ряд источников ультрафиолетового излучения, в том числе ртутные тлеющие разряды низкого давления, ртутные разряды среднего давления, импульсный ксеноновый дуговой разряд, ксеноновый эксимер и дуга под флюсом, все из которых работают одинаково. Электрический разряд ионизирует газ, который излучает фотоны. Примерно 95% УФ-света, излучаемого ртутными дугами низкого давления, имеет длину волны 253,7 нм и считается наиболее эффективным источником УФ-света для бактерицидных применений, поскольку фотоны больше всего поглощаются ДНК микроорганизмов на этой длине волны. Излучение с длиной волны ниже 230 нм наиболее эффективен для диссоциации химических соединений. На длинах волн ниже 200 нм, например, 185 нм, из кислорода образуется озон и органические соединения могут окисляться [68].

Современное оборудование для УФ обработки обычно включает трубку, проницаемую для УФ излучения, через которую перекачивается жидкий продукт. Поток в трубке может быть турбулентным или ламинарным [69–72]. В качестве критерия подобия течения жидкости выступает число Рейнольдса. Например, для прямых гладких труб критическое значение критерия Рейнольдса ($Re_{кр}$) = 2300, а движение жидкости при $Re<Re_{кр}$ будет устойчивое ламинарное. Движение при условии $Re>Re_{кр}$ становится неустойчивым турбулентным. Устойчивый турбулентный характер поток жидкости приобретет при $Re>104$ [73].

Турбулентный поток обусловлен хаотичным движением частиц жидкости, которые возникают в результате вихревых потоков течения. При ламинарном потоке частицы жидкости не перемешиваются и движутся слоями по параллельным траекториям [74]. Турбулентный поток постоянно обновляет поверхность и обеспечивает контакт всех частей жидкости с ультрафиолетовым излучением [75]. Ламинарный поток проходит в очень тонком слое [67].

Появление все новых положительных данных об особенностях воздействия ультрафиолетового излучения на составные компоненты и качество молока послужило стимулом того, что Европейскаое агентство по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority, EFSA) пришло к выводу, что такой продукт является безопасным для целевой группы (всех возрастных групп, за исключением младенцев до одного года) [76].

Калифорнийской компанией «California Day-Fresh Foods» была подана заявка в управление по контролю за продуктами и лекарственными средствами (США) (FDA – Food and Drug Administration) с предложением изменения в правила по пищевым добавкам, с целью обеспечения безопасного использования ультрафиолетового излучения для снижения количества патогенных микроорганизмов в соковых продуктах [43]. FDA провело оценку безопасности использования ультрафиолетового облучения для снижения количества патогенных для человека и других микроорганизмов в соках. Оценка безопасности была основана на текущем понимании влияния ультрафиолетового облучения на основные химические компоненты продуктов питания. Оценив данные, приведенные в заявке, и другие соответствующие материалы, имеющиеся в архивахв в 2001 году агентство пришло к выводу, что любые фотохимические изменения, которые могут произойти в результате УФ-облучения, не имеют токсикологического значения. Заявленное в петиции УФ-излучение производится ртутными лампами низкого давления, которые излучают более 90 процентов своего света на длине волны 253,7 нанометров (нм), небольшой процент излучения этих ламп находится за пределами диапазона 220,0 - 300,0 нм [43].

Однако FDA никаким образом не ограничивало максимальную дозу облучения, требуемую для достижения необходимых показателей качества. Представители FDA надеются, что УФ излучение будет использована при наиболее щадящих режимах, позволяющих сохранить органолептические свойства продукта наиболее приближенным к естественному (в т. ч. запах) [43].

Молочные продукты на этапах транспортировки и хранения имеют благоприятные условия для заражения такими видами плесеней как *Aspergillus, Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus* [77]. Данные виды плесеней способны вырабатывать афлатоксины – вторичные грибковые метаболиты. Среди токсинов, AFB1 классифицирован как канцероген группы I по классификации Международного агентства по изучению рака. Уровни содержания AFM1 в молоке и молочных продуктах в различных странах различны. Это может быть связано с климатическими условиями каждой географической зоны и различиями в кормлении молочного скота. Некоторые исследования показали, что тепловая обработка не может эффективно снизить содержание афлатоксинов в молоке, поскольку большое количество микотоксинов устойчивы к теромобработке [78]. В связи с этим были проведены исследования, в ходе которых выявлено, что афлатоксины эффективно снижаются с помощью гамма-облучения, озонирования, обработкой высоким давлением, холодной плазмой, а также методами импульсного и ультрафиолетового облучения. Данные нетермические технологии, работают при более низких температурах, экологически безопасны и не оставляют после себя остатков отходов [77]. Результаты исследования показали, что ультрафиолетовое облучение снижает уровень AFM1 и общего содержания AF в ацидофильном молоке и составило 96,1% и 98,81%, соответственно. Кроме того, снизилась бактериальная жизнеспособность с $10^8$ до $10^6$ КОЕ/г, а уровень *Lactobacillus acidophilus* в конечном продукте составил $10^6$ КОЕ/г [79].

В 2013 году Управление по безопасности пищевых продуктов и Управление по безопасности продуктов питания и стандартизации Индии FSSAI одобрило использование процесса ультрафиолетового воздействия на сырое молоко системой «SurePure» [80–84]. В шести юрисдикциях продукты питания,

обработанные ультрафиолетом, считаются новыми продуктами питания: ЕС, Великобритания, Канада, Австралия, Новая Зеландия и Китай [85].

Европейское агентство по безопасности продуктов питания (European Food Safety Authority - EFSA) в 2016 году в соответствии с Регламентом (ЕС) № 258/97 одобрило использование ультрафиолетового облучения для посттепловой пастеризации молока (цельного, полуобезжиренного или обезжиренного), с целью сохранения питательных веществ и продления срока хранения. При этом было показано, что такая обработка приводит к увеличению концентрации витамина $D_3$. Целевой группой является население в целом, за исключением детей в возрасте до 1 года [86].

В 2017 году Израильское агентство по регулированию пищевых продуктов одобрило использование ультрафиолетового света для снижения микробной нагрузки в пастеризованном молоке. Комитет по здравоохранению одобрил заявку на обработку пастеризованного молока ультрафиолетовым излучением с длиной волны от 200 до 300 нм с использованием режима турбулентного потока. Обработанное молоко должно быть обеззаражено от микробиологической обсемененности и должно маркироваться в соответствии с израильским регламентом как "обработанное ультрафиолетом", также на него будут распространяться любые изменения в регламенте [87].

На территории Российской Федерации УФ обработка не является одним из способов пастеризации, в связи с чем питьевое молоко не может быть отпущено в реализацию без соответствующей тепловой обработки. Тем не менее, в комбинации с традиционной пастеризацией данная технология в перспективе сможет обеспечить повышенную хранимоспособность молока и молочных продуктов.

### 1.3. Бактерицидный эффект ультрафиолетового излучения

Согласно ГОСТ 31449-2013 в сыром молоке количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) не должно превышать $1{,}0 \cdot 10^5$ КОЕ/см$^3$ или 5 log10 КОЕ/мл. Доза УФ-излучения, необходимая

для 10-кратного уменьшения (на один порядок) микробной популяции, может инактивировать 90% (один log10) микробной нагрузки в пищевой среде и коррелирует с количеством энергии, поглощаемой фракционной популяцией жизнеспособных клеток. Эта величина обычно используется для характеристики УФ-чувствительности микробных групп [88]. УФ-С излучение снижает количество бактерий, но доза, необходимая для достижения нужно показателя (5-логарифмическое уменьшение), вызывает неприятный, индуцированный светом привкус молока. На сегодняшний день проведено множество исследований, доказавших бактерицидную эффективность УФ-С излучения молока [28,67,89–91]. Коротковолновое ультрафиолетовое облучение предполагает нетепловой метод обработки в непрерывном потоке, который может обеспечить безопасность против большинства микроорганизмов. Ультрафиолетовая обработка в качестве дополнения к термической пастеризации может обеспечить лучшее поддержание качества молока [28,92–96].

Бактерицидный эффект зависит от дозы УФ излучения. В таблице 1.1 приведены примеры влияния доз, необходимых для экспоненциального разрушения различных микроорганизмов [97].

Таблица 1.1 – Дозы ультрафиолетового излучения при длине волны 253,7 нм, необходимые для инактивации различных групп микроорганизмов.

| **Группа микроорганизмов** | **Доза облучения мДж/см$^2$** |
|---|---|
| Энтеробактерии | 2-8 |
| Кокки и микрококки | 1,5-20 |
| Спорообразующие | 4-30 |
| Кишечные вирусы | 5-30 |
| Дрожжи | 2,3-8 |
| Грибы | 30-300 |
| Простейшие | 60-120 |
| Водоросли | 300-600 |

В различных исследованиях приводятся данные об использовании УФ обработки с непрерывным турбулентным потоком в сочетании с пастеризацией в качестве способа увеличения срока хранения молока как минимум на 30%. В лабораторных исследованиях, проведенных в Калифорнийском университете в

Дэвисе, для обработки предварительно пастеризованного молока жирностью 3,5 и 2% была использована УФ система с непрерывным турбулентным потоком при 254 нм и дозах облучения 880 и 1760 Дж/л [98]. Молоко обрабатывали при 6 °С в канале диаметром 0,9 – 1,6 мм над кварцевым рукавом со скоростью 4000 л/ч. Подобная обработка показала свою бактерицидную эффективность, увеличив срок хранения молока до 28-35 дней. Испытания показали, что дозы облучения ниже 880 Дж/л оказывают незначительное влияние на патогены и микроорганизмы. Органолептическая оценка (метод треугольника) не показала различий между необработанным контрольным образцом молока 3,5% жирности и образцом молока 2% жирности (880 Дж/л). В остальных УФ обработанных образцах молока были обнаружены сенсорные дефекты, описываемые как «сгоревший», «выключенный», «сильный» и «несвежий». Сенсорный дефект, связанный с воздействием ультрафиолетового излучения, был связан с окислением липидов (о чем свидетельствует увеличение количества веществ, реагирующих с тиобарбитурином) [98].

В работе Cappozzo J. C. исследовали химические изменения в составе сырого молока, подвергнутого УФ воздействию в непрерывном турбулентном потоке в зазоре 7,75 мм со скоростью 4000 л/ч и дозами облучения 1045 и 2090 Дж/л в сравнении с традиционной термической пастеризацией и комбинацией данных процессов (до или после УФ излучения). Проведенное сравнительное исследование не выявило каких-либо статистически значимых химических изменений в отношении содержания жира, белка, золы, влажности, профиля жирных кислот, окисления липидов. Авторы пришли к выводу, что технологию УФ излучения с турбулентным потоком можно рассматривать как альтернативу нетермической обработке молока для продления срока его хранения [89]. Результаты исследования Ansari J.A. показали, что предварительная ультрафиолетовая обработка молока (доза облучения 2,37 ± 0,126 Дж/мл) перед пастеризацией может быть альтернативой стерилизации обезжиренного молока (135 °С, 3 с) [66].

В недавнем российском исследовании Байрамова Т.Х. был оценен нетепловой метод обработки молока-сырья, получаемого непосредственно на

ферме, суть которого заключалась в его обработке в тонком слое на разработанном экспериментальном актинаторе с применением комплекса ультрафиолетовой и инфракрасной (ИК) обработки перед дальнейшей переработкой на молокозаводе. Установлено, что при пастеризации молока ИК и УФ воздействием наблюдается уменьшение суммарного количества аэробомезофильных организмов соответственно в ниже следующем порядке: 2,66; 1,70; 2,77; 1,83; 2,12 млн/мл. По сравнению с тепловым пастеризатором, обработка молока на экспериментальном актинаторе по расчетным данным автора работы обеспечивает снижение затрат труда в 2 раза, приведенных затрат в 3,2, капитальных вложений в 2,5 раза [99].

В таблице 1.2 показаны некоторые результаты научных исследований влияния УФ излучения на бактерицидный эффект молока, молочной сыворотки и молочных продуктов.

Таблица 1.2 – Бактерицидный эффект УФ обработки молока и молочных продуктов.

| Объект исследования | Условия обработки | Целевой микроорганизм | Бактерицидный эффект | Ссылка |
|---|---|---|---|---|
| Сырое молоко | 1,07 Вт/м$^2$<br>5 °С<br>60 сек | *Staphylococcus aureus* | снижение обсемененности на 7 log10 КОЕ/мл | [100] |
| Козье обезжиренное молоко | 15,8 ± 1,6 мДж/см$^2$<br>4 °С, 18 сек | *Listeria monocytogenes* | снижение обсемененности на 5 log10 КОЕ/мл | [101] |
| Обезжиренное молоко | лампа 40 Вт, доза облучения 168,33 мДж/см$^2$ | суррогатные вирусы (MS2 и T1UV), бактерии (*E. coli* ATCC 25922, *Salmonella enterica serovar Typhimurium* ATCC 13311 и *Listeria monocytogenes* ATCC 19115) | снижение обсемененности более чем на 5 log10 КОЕ/мл | [102] |
| Сырое молоко, обезжиренное молоко | Доза облучения - 11,187 мДж/см$^2$<br>Длина волны излучения - 253,7 | *Escherichia. coli* W1485<br>*Bacillus cereus* | Снижение *E. coli* в обезжиренном и сыром молоке 7,8 и 4,1 log10 КОЕ/мл соответственно. Снижение *B.cereus* в обезжиренном и сыром молоке 2,72 и 2,65 log10 КОЕ/мл соответственно. | [103] |

Продолжение таблицы 1.2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Сырое молоко | 39 Вт (98 мДж / см$^2$) и 48 Вт (109,9 мДж / см$^2$) | Общая бактериальная нагрузка | снижение обсемененности на 4,70 (39 Вт) и 4,60 log10 КОЕ / мл (48 Вт) за 120 мин | [104] |
| Полутвердый сыр | 44 Дж / см$^2$ Расстояние до объекта 13 см, 45 сек | *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* O157: H7 | снижение обсемененности на 1,62 и 3,02 log10 КОЕ/см$^3$ соответственно | [105] |
| Итальянский сыр «Fiordilatte» | 253,7 нм, 2 см до продукта. 20 Вт/м$^2$, время обработки от 5 до 750 с. | *Pseudomonas spp.*, *Enterobacteriaceae* | Снижение количества микроорганизмов на 1-2 log10 КОЕ/см$^3$ | [106] |
| Сыр Рикотта | Расстояние до облучаемого объекта 6 см, 400 с, 6,54 Дж/см | *Pseudomonas fluorescens* | Уровень Pseudomonas spp. в сыре, инокулированном $10^3$, $10^4$ и $10^5$ КОЕ/мл после УФ-облучения составил 2,1 ± 0,1, 2,1 ± 0,1, 4,6 ± 0,1 КОЕ/мл | [107] |
| Подсырная сыворотка | 450 Вт/м$^2$ 28 °C 100 сек | Общая бактериальная нагрузка | снижение обсемененности на 3,5 log10 КОЕ/мл | [39] |

В исследовании Krishnamurthy K. для снижения бактериальной обсемененности молока *Staphylococcus aureus* на 7 log10 КОЕ/мл доза УФ излучения составляла 1,07 Вт/м$^2$ [100]. В работе Matak K. E. УФ-излучение (15,8±1,6 мДж/см$^2$) использовалось для снижения количества *Listeria Monocytogenes* в обезжиренном козьем молоке, в результате которого обсемененность снизилась на 5 log10 КОЕ/мл [101]. В работе Ward D. M. была исследована эффективность УФ-облучения (лампа 40 Вт, доза облучения 168,33 мДж/см$^2$) обезжиренного молока, инокулированного двумя суррогатными вирусами (MS2 и T1UV), и тремя видами бактерий (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella enterica serovar Typhimurium* ATCC 13311 и *Listeria monocytogenes* ATCC 19115). В результате исследования микробная нагрузка MS2, T1UV, *E. coli*, *Salmonella и Listeria* была снижена более чем на 5 log10 КОЕ/мл. Облученное обезжиренное молоко не проявило токсичности для клеток печени и кишечника

мышей [102]. В университете Иллиноиса (США) исследовали влияние числа Рейнольдса (Re) на инактивацию эндоспор *Escherichia coli* W1485 и *Bacillus cereus* в сыром и обезжиренном молоке. Исследования проводились в двух УФ-реакторах со спиральными трубками, имеющих внутренний диаметр 1,6 и 3,2 мм, время пребывания в них продукта - 11,3 с при комнатной температуре. Эффективность инактивации *E. coli* (на 7,8 log 10 КОЕ / мл, что соответствовало Re 532) и *B. cereus* (на 2,65 log10 КОЕ/мл при значении Re 713) была выше в обезжиренном молоке, чем в сыром в УФ реакторе с диаметром трубками 1,6 мм. Максимальное снижение *E. coli* и *B. cereus* в сыром молоке составило 4,1 log 10 КОЕ/мл (Re 713) и 2,72 log10 КОЕ/мл (Re 1024) соответственно в УФ реакторе 1,6 мм. На протяжении всего этого исследования инактивация эндоспор *B. cereus* была ниже, чем у клеток *E. coli* [103].

В работе Makarapong D. исследовали влияние УФ-излучения на общую микробную нагрузку в сыром молоке непосредственно после доения. Эксперименты проводились при скорости потока 2,4 и 7 л/мин и мощности УФ излучения 39 и 48 Вт (253,7 нм). Количество микроорганизмов уменьшилось на 4,70 (39 Вт) и 4,60 log10 КОЕ/мл (48 Вт) за 120 мин. При времени пребывания 4,95 с и дозах УФ излучения 98 и 109,9 мДж/см$^2$ четко наблюдалось уменьшение количества микроорганизмов без значительного влияния мощности УФ-С на окисление молочного жира [104].

В работе Keklik N.M. изучалось влияние импульсного ультрафиолетового излучения на *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* O157:H7 на поверхности свежего сыра. Импульсный ультрафиолетовый свет подавался на сыр в течение разного времени (5, 15, 30, 45, 60 с) на расстоянии 5, 8 и 13 см от кварцевого окна. Основываясь на уровне инактивации, времени и визуальной оценке, наиболее эффективными режимами обработки были определены продолжительность 45 с, расстояние 13 см (доза облучения 44 Дж/см$^2$). Эта обработка снизила обсемененность на 1,62 и 3,02 log10 КОЕ/см$^2$ для *S. aureus* и *E. coli* O157:H7 соответственно, при этом не изменив ($p > 0,05$) pH, окисление липидов и содержание влаги в сыре. Когда сыр кашар толщиной 0,5 см обрабатывали импульсным ультрафиолетовым светом на расстоянии 5 см от кварцевого стекла,

было обнаружено, что самый высокий коэффициент пропускания энергии составил около 9,16%. Эти результаты демонстрируют, что импульсный ультрафиолетовый свет имеет потенциал для последующей обработки поверхностей полутвердых сыров [105].

В работе Lacivita V. исследовали положительное действие на инактивацию *Pseudomonas spp, Enterobacteriaceae* в итальянском сыре «Fiordilatte» от 1 до 2 log10 КОЕ/см$^3$. Результат показал увеличение срока годности на 80%, которое было достигнуто путем выбора адекватных условий обработки сыра «Fiordilatte» под воздействием дозы излучения 6,0 мДж/м$^2$ [106]. Аналогичное исследование проводили на сыре Рикотта, задачей которого было изучение влияния УФ-излучения на дезактивацию искусственно инокулированной *Pseudomonas fluorescens в* различных концентрациях (1,0· 10$^3$, 1,0· 10$^4$ и 1,0· 10$^5$ КОЕ/мл). Для обработки образцов ультрафиолетовым облучением был сконструирован блок, состоящий из 4 ламп мощностью 95 Вт. Длина волны источников излучения – 254 нм. Доза облучения образцов – 6,54 Дж/см$^2$. Расстояние от источника излучения до образца – 3,5 см. Время обработки – 30 с. Результат показал, что контрольные образцы сыра стали непригодными с точки зрения микробиологии менее чем через 5 дней. Обработанные УФ излучением образцы сохранялись более 6 дней. Уровень Pseudomonas spp. в сыре, инокулированном в количестве 1,0· 10$^3$, 1,0· 10$^4$ и 1,0· 10$^5$ КОЕ/мл без УФ обработки составил 3,6 ± 0,1, 4,4 ± 0,1, 5,7 ± 0,1 КОЕ/мл, а после УФ-облучения – 2,1 ± 0,1, 2,1 ± 0,1, 4,6 ± 0,1 КОЕ/мл соответственно [107].

В молочной промышленности УФ излучение используется в основном для стерилизации подсырной сыворотки, как альтернатива пастеризации, поскольку сыворотку часто приходится хранить в течение некоторого времени перед переработкой в концентрат или изолят сывороточных белков, и ее нельзя термически пастеризовать. Поэтому снижение бактериальной нагрузки в молочной сыворотке с помощью УФ излучения для улучшения сохраняемости является привлекательным. В работе Simmons M. J. H. было зафиксировано снижение полной микробной нагрузки на 3,5 log10 КОЕ/мл в подсырной сыворотке при дозе УФ излучения 450 Вт/м$^2$ [39].

Таким образом, обобщая приведенные сведения можно заключить, что применение УФ обработки молочного сырья обосновано как с точки зрения длительного сохранения сырья, так и экономичсеской выгоды. На сегодняшний день большая часть доступной информации по УФ обработке сосредоточена на аспектах сохранения микробиологической безопасности молока и молочных продуктов. Обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания является одной из основных задач пищевой промышленности [108–111]. Физико-химические и сенсорные характеристики молока и молочных продуктов зависят от параметров УФ облучения, включая тип обработки и интенсивность [28]. Тем не менее, имеется ограниченное количество опубликованной информации о влиянии УФ излучения на структурные изменения молочных белков и их взаимодействие [112].

## 1.4. Влияние ультрафиолетового излучения на физико-химические показатели молока

В настоящее время существует немного исследований, посвященных оценке возможных негативных последствий УФ излучения на физико-химические и сенсорные характеристики молока и молочных продуктов. Большинство исследований сводится к тому, что на химический состав молока воздействие ультрафиолетового света не оказывает существенного влияния [28,113]. Среди макроэлементов молока углеводы менее чувствительны к УФ излучению. Некоторые гликозидные связи, связывающие моносахариды, разрываются при воздействии излучения, что снижает степень полимеризации и, следовательно, увеличивает вязкость растворов полисахаридов [28]. Основным негативным последствием УФ обработки молока является возможное окисление липидов или белков, что влечет за собой порчу продукта [114–117]. При окислении липидов могут образовываться такие нежелательные вещества, как пероксиды, альдегиды, кетоны, оксокислоты, низкомолекулярные жирные кислоты, снижающие пищевую и биологическую ценность продукта [118,119]. За окислительные изменения отвечают содержащиеся в сыром молоке прооксиданты. Достаточно сильным

прооксидантом молока является трехвалентное железо. Кроме того, к ним относятся медь, кобальт, никель, марганец и др. При невысоком содержании аскорбиновой кислоты в молоке она также действует как прооксидант, регенерируя перферрильный радикал при инициации перекисного окисления липидов [120,121]. При воздействии света окисление в молоке аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую (70−80 % остается в восстановленной форме) ускоряется. Скорость и степень окисления липидов молока обусловливаются их жирнокислотным составом. Свободные жирные кислоты (СЖК) окисляются быстрее, чем связанные. Насыщенные жирные кислоты − медленнее [109,120]. Как правило, по мере увеличения дозы УФ излучения степень окисления липидов и, соответственно, неприятного запаха в молочных продуктах увеличивается. Данный эффект является результатом окисления остатков ненасыщенных жирных кислот в липидах и фосфолипидах молока. Фотодеградация белков также приводит к появлению неприятного запаха и органолептическим изменениям в молоке [122,123]. Как правило, за изменение запаха молока после его УФ обработки отвечает повышение концентрации таких летучих соединений, как альдегиды и кетоны. Например, в работе Engin B. после облучения молока в турбулентном потоке (доза УФ излучения за один проход 13,87 Дж/мл) с помощью методов газовой хроматографии-ольфактометрии и газовой хроматографии-масс-спектрометрии в сравнении с сырым и пастеризованном (65 ºС, 30 мин) молоком были идентифицированы различные летучие соединения [124]. Жирность всех исследуемых образцов молока составляла 3,32%. Предподготовка включала экстрагирование молока диэтиловым эфиром с последующим центрифугированием и удалением эфирной фазы из верхнего слоя. На последнем этапе полученные экстракты, содержащие летучие нейтральные/основные и кислые вещества, постепенно разбавляли диэтиловым эфиром в соотношении 1:3 (об./Об.), пока не переставали обнаруживать запахи. Наибольшее разбавление определяли как фактор разбавления аромата (РА). Сводные данные исследования приведены в таблице 1.3 [124].

Таблица 1.3 – Ароматически активные соединения (фактор РА), идентифицированные в сыром, пастеризованном и УФ молоке

| Соединение | Фактор РА | | | Аромат |
|---|---|---|---|---|
| | Сырое молоко | Пастеризованное молоко | УФ молоко | |
| Диацетил | - | <1 | 6 | Масло |
| 3-метилтиофен | 11 | 13 | 11 | Пластик |
| Гексанал | 3 | 2 | 6 | Трава |
| Этилгексаноат | 3 | - | 5 | Сложный эфир |
| 2-Нонанон | 3 | <1 | 5 | Окисленный |
| (E, Z) -2,6-Нонадиеналь | 2 | 4 | 5 | Огурец |
| (E) -2-Ноненал | 5 | 3 | 3 | Сено |
| (E, E) -2,4-Нонадиеналь | 4 | 3 | 5 | Окисленный |

Среди летучих соединений в работе авторов были обнаружены: диацетил с маслянистой ноткой. Фактор РА диацетила в УФ молоке составлял 6. Также в УФ молоке было зафиксировано высокое значение РА гексаналя (РА = 6), для сырого, и пастеризованного молока РА гексаналя составляли 3 и 2 соответственно. Обнаруженные альдегиды, включая гексаналь, (E, Z) -2,6-нонадиеналь и (E, E) -2,4-нонадиеналь, имели более высокие коэффициенты РА в обработанном УФ излучением молоке, чем в других образцах [124].

Маркерами окисления липидов является образование первичных (содержание гидроперекисей и оксилипинов) и вторичных продуктов окисления (активных форм тиобарбитуровой кислоты-ТБАР) [101]. Например, в исследовании Matak K.E. с увеличением дозы ультрафиолета до 15,8±1,6 мДж/см$^2$ возросло содержание ТБАР и значения кислотности образцов козьего молока [101]. Напротив, в работе Hu G. не было обнаружено изменений значений ТБАР сырого молока, обработанного УФ-С (доза 11,8 Вт/м$^2$). При этом было установлено

окисление белка по изменению количества его карбонильных групп. После УФ обработки оно значительно повысилось с 2,74 до 4,43 нмоль/мг белка [125].

Что касается белков молока, различные исследования показали, что казеины более восприимчивы к повреждению отдельных аминокислот, чем глобулярные белки (α-лактальбумин и β-лактоглобулин) [126]. Воздействие УФ излучения на белки в основном связано с поглощением света ароматическими аминокислотами, триптофаном, тирозином и фенилаланином с последующим образованием свободных радикалов и межмолекулярных ковалентных связей. При обычно используемой длине волны 254 нм эти соединения имеют коэффициенты поглощения 1; 0,11 и 0,05 соответственно, что указывает на то, что трипрофан с наибольшей вероятностью претерпевает изменения во время облучения УФ-С [64]. Обработка сывороточных белков ультрафиолетовым светом (280-295 нм) приводит к опосредованному триптофаном фотолизу дисульфидных связей, который вызывает разворачивание, олигомеризацию и агрегацию с образованием отдельных свободных тиолов [127]. В таблице 1.4 приведены некоторые научные результаты о влиянии УФ излучения на структурные изменения молочных белков.

Таблица 1.4 – Влияние УФ излучения на структурные изменения молочных белков

| Объект исследования | Условия обработки | Результаты исследования | Ссылка |
|---|---|---|---|
| Подсырная сыворотка (6% сухих веществ) | Турбулентный поток, доза облучения 40 мДж/см$^2$ | Содержание растворимых белков не изменилось<br>Окислительные процессы отсутствовали | [65] |
| КСБ (22,8% сухих веществ) | | Незначительное снижение растворимых белков<br>Окислительные процессы отсутствовали | |
| Казеинат натрия | Мощность лампы 30 Вт, 6 часов. Расстояние до объекта 30 см | Снижение содержания свободных аминогрупп<br>Индуцированное сшивание белков УФ излучением<br>Улучшение эмульгирующих и пенообразующих свойств | [128] |

Продолжение таблицы 1.4

| | | | |
|---|---|---|---|
| Обезжиренное молоко | Импульсное УФ излучение, интенсивность излучения 2,34 Вт 4 °С, 24 часа Расстояние до объекта 30 см | Более высокие уровни N'-формилкинуренина, чем у цельного молока<br>Олигомеризация белков | [129] |
| Цельное молоко | | Более высокие уровни образования дитирозиновой связи<br>Олигомеризация белков | |
| ИСБ (1% раствор) | Импульсное УФ излучение от 4 до 16 Дж/см$^2$ | Увеличение содержания свободных SH-групп (разворачивание). Образование дисульфидных связей. Ассоциация промежуточных и более крупных белковых молекул, образование растворимых агрегатов между β-лактоглобулином и α-лактальбумином | [130] |
| ИСБ (1% раствор) | доза УФ излучения от 6,6 до 0,285 кДж / л | Изменения в третичной структуре белков. Денатурация и агрегация белков<br>Образование продуктов окисления (N-формилкинуренин из триптофана и дитирозин из тирозина),.<br>Увеличение сульфгидрильных групп | [64] |
| ИСБ (5% раствор) | | | |
| Раствор КСБ (8% белка) | Доза УФ излучения 4 Дж/см$^2$ | Увеличение свободных SH-групп с 16,88 ± 1,62 ммоль/г белка в необработанном растворе, до 27,47 ± 0,54 ммоль/г белка | [131] |
| | Доза УФ излучения 12 Дж/см$^2$ | Увеличение свободных SH-групп с 16,88 ± 1,62 ммоль/г белка в необработанном растворе, до 25,65 ± 0,97 ммоль/г белка | |
| Казеин Сывороточные белки | доза УФ излучения 6 Дж / см$^2$ | Снижение интенсивности полос β-лг и α-лг. Полное удаление полос бычьего сывороточного альбумина и иммуноглобулинов. Снижение аллергенности на 25% для α-казеина и на 27,7% для фракций сыворотки | [132] |

Продолжение таблицы 1.4

| | | | |
|---|---|---|---|
| Раствор α-казеина | Доза облучения 11,8 Вт/м$^2$ | Снижение содержания во вторичной структуре белка β-листов и увеличение α-спиралей и β-витков. Снижение аллергенности | [133] |

В работе Buhler S. исследовали влияние УФ обработки в сравнении традиционной термообработкой при 72,1 ± 0,1 °С в течение 15 сек на белковый состав подсырной сыворотки. Для этого авторами работы был сконструирован УФ-реактор с 8 установленными амальгамными лампами с длиной волны 253,7 нм и мощностью 400 Вт [65]. Исследовали два образца обезжиренной (6% сухих веществ) и конценрированной (22,8% сухих веществ) подсырной сыворотки. Скорость потока при УФ обработке составила 30 м$^3$/ч для образцов обезжиренной сыворотки и 7,9 м$^3$/ч для концентрированной. Доза облучения составила 40 мДж/см$^2$. Было проведено количественное определение растворимых сывороточных белков и их гликозилированных форм в образцах сыворотки до и после УФ и термообработки. Авторами установлено, что УФ обработка не изменяла количество (содержание β-лактоглобулина (β-лг) и α-лактальбумина (α-лг) составило 5 и 2 мг/мл соответственно) и степень гликозилирования растворимых белков сыворотки (14 и 6% для β-лг и α-лг соответственно) по сравнению с контрольными необработанными образцами. Напротив, образцы, подвергнутые термообработке, показывали более низкое содержание растворимых сывороточных белков (содержание β-лг и α-лг составило 4 и 1,6, мг/мл соответственно) и было обнаружено, что их процент гликозилирования выше (15, и 6,4% для β-лактоглобулина и α-лактальбумина соответственно). В результате оценки обработанных образцов сыворотки не было обнаружено потерь ароматических аминокислот, подтверждая отсутствие окислительных процессов. УФ обработка концентрированных образцов сыворотки вызывала незначительное уменьшение количества растворимых сывороточных белков (содержание β-лг и α-лг составило 16 и 7 мг/мл соответственно) по сравнению с контролем (содержание β-лг и α-лг составило 17 и 7,5 мг/мл соответственно). Тем не менее наименьшее

содержание растворимых белков было установлено после термической обработки (содержание β-лг и α-лг составило 14 и 5 мг/мл соответственно). По сравнению с неконцентрированной сывороткой степень гликозилирования существенно не изменилась под действием УФ-обработки, что подчеркивает тот факт, что процесс концентрирования оказывает незначительное влияние на качество продукта [65].

В исследовании Kuan Y.H. было установлено улучшение эмульгирующих и пенообразующих свойств казеината натрия после 6 часов УФ обработки (253,7 нм, 30 Вт), возникшие в результате перекрёстного сшивания белков после длительного облучения [128]. Предварительно образцы казеината натрия массой около 15 г были нанесены тонким слоем на стерильные чашки Петри (диаметром 15 см), высушены в шкафу, а затем подвергнуты продолжительному воздействию УФ излучения на расстоянии 30 см в шкафу. В результате исследования в образцах было зафиксировано снижение содержания свободных аминогрупп с 1,12±0,02 до 0,91±0,02 и 0,82±0,02 ммоль/г на 4 и 6 час УФ излучения соответственно. Подобное изменение авторы работы напрямую связывают с нарушением вторичной и третичной структуры белков, приводящее к их сшиванию. Результаты оценки молекулярной массы белков методом электрофореза в полиакриламидном геле показали снижение интенсивности полос около молекулярной массы 75 – 150 кДа при длительном воздействии более 4 часов по сравнению с контрольным образцом (рис. 1.3). При воздействии в течение 6 часов все основные полосы исчезли, что указывало на индуцированное сшивание белков УФ излучением (рис. 1.3). Пенообразующая способность в необработанном образце казеината натрия составляла 153%, а после 4 и 6 часов УФ воздействия возросла и составила 160 и 165% соответственно [128].

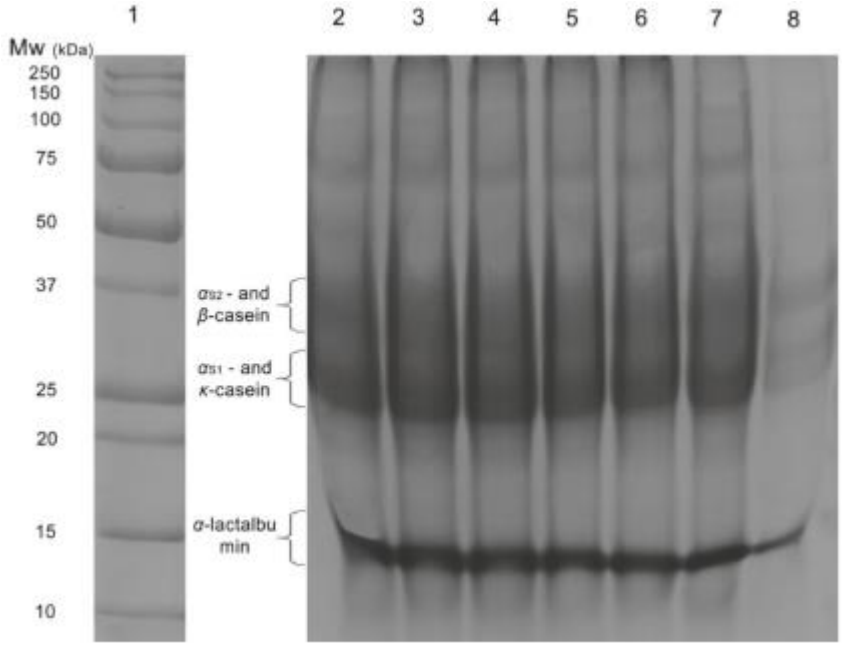



Рисунок 1.3 – Образцы SDS-PAGE для контроля и казеината натрия, подвергнутые УФ излучению (дорожка 1 – стандарт молекулярной массы; дорожка 2 – контроль; дорожки 3-8, продолжительность воздействия УФ излучения 30, 60, 90, 120 минут, 4 и 6 часов, соответственно) [128].

В работе Scheidegger D. исследовали процесс окисления белков в обезжиренном и цельном молоке в результате УФ обработки (15 Вт, интенсивность излучения 2,34 Вт) в течение 24 часов при 4 °С. Образцы объемом 5 мл разливали в чашки Петри диаметром 6 см и подвергали воздействию УФ света внутри камеры (30 см в высоту, 50 см в длину и 20 см в ширину). Контрольные образцы были завернуты в алюминиевую фольгу, чтобы избежать воздействия излучения. Окисление белков оценивали по образованию карбонилов белка, дитирозиновой связи и изменениям молекулярной массы (фрагментация и полимеризация белка). Через 1 час УФ излучения было обнаружено присутствие карбонильных фрагментов, что, как утверждают авторы работы, происходило из-за окисления триптофана, гистидина и метионина. Карбонилы белков увеличивались как функция времени облучения как для цельного, так и для обезжиренного молока. После 24 часов воздействия УФ-излучения у обезжиренного молока были значительно более высокие уровни N'-формилкинуренина, чем у цельного молока. Напротив, образцы цельного молока имели более высокие показатели образования дитирозиновой связи. Образование внутри- или межмолекулярных дитирозиновых

связей может указывать, по мнению авторов работы, на изменения в третичной структуре или олигомеризации белков [129].

В работе Siddique M. A. B. было исследовано влияние импульсного УФ излучения на агрегацию растворов ИСБ. При обработке 1% раствора ИСБ в натрий-фосфатном буфере (pH = 7,5) доза облучения составляла от 4 до 16 Дж/см$^2$. Структурную модификацию и агрегацию сывороточного белка оценивали путем определения свободных SH-групп и спектров УФ поглощения. ИСБ после УФ обработки показал структурные изменения, о чем свидетельствует немедленное увеличение содержания свободных SH-групп (разворачивание) и последующее образование небольшой фракции агрегации развернутых белков из-за как гидрофобных взаимодействий, так и образования дисульфидных связей. Мутность, средний размер частиц и индекс агрегации увеличились во всех исследуемых образцах. При анализе гель-электрофореза авторы также наблюдали ассоциацию промежуточных и более крупных белковых молекул, образование растворимых агрегатов между β-лактоглобулином и α-лактальбумином. Результаты этого исследования продемонстрировали потенциал УФ обработки сывороточных белков вызывать денатурацию белка с минимальным образованием агрегатов растворимого белка. Авторы работы предположили, что частичная денатурация и образование небольшой фракции растворимых агрегатов могут улучшить функциональные и технологические свойства ИСБ [130].

В работе Kristo E. изучали структурные изменения 1 и 5% растворов сывороточных белков, вызванные УФ обработкой на длине волны 254 нм в системе непрерывного действия УФ реактора Тейлора-Куэтта, оснащенной трубопроводом для жидкости из тефлона FEP (фторированный этилен-пропилен) и статическим смесительным элементом [64]. Дозировку УФ излучения варьировали, изменяя скорость потока растворов ИСБ (от 30 до 800 мл/мин), в результате чего уровни дозы УФ-излучения составляли от 6,6 до 0,285 кДж/л. На основе флуоресцентной спектроскопии и определений гидрофобности было показано, что УФ обработка вызывает изменения в третичной структуре белков. Авторы наблюдали денатурацию и агрегацию белков, образование продуктов окисления (N-

формилкинуренин из триптофана и дитирозин из тирозина), повышенную чувствительность белков к гидролизу пепсином и увеличение сульфгидрильных групп. Во всех аспектах влияние на белки в 1% растворе было больше, чем в 5% растворе. Это было связано с более высокой мутностью и меньшим проникновением УФ излучения в 5%-ный раствор [64].

Одним из направлений существующих исследований применения УФ излучения является снижение аллергенности молочных белков. Данная проблема освящена во многих работах российских и зарубежных исследователей [134–140]. В исследовании Tammineedi C. V. R. K. было изучено влияние УФ излучения (8,7 Вт, длина волны 253,7 нм) на стабильность и аллергенность казеина и сывороточных белков [132]. Оценка молекулярной массы методом гель-фильтрации показала, что обработка в течение 15 минут (расчетная доза излучения 6 Дж / см$^2$) привела к снижению интенсивности полос β-лг и α-лг и полному удалению полос бычьего сывороточного альбумина и иммуноглобулинов. Это также вызвало значительное снижение значений связывания IgE по сравнению с контрольными образцами, что указывает на снижение аллергенности белков (снижение на 25% для α-казеина и снижение на 27,7% для фракций сыворотки) [132]. В работе Hu G. рассматривали влияние обработки высокого гидростатического давления, УФ-С, дальним ИК-диапазоном на морфологию и ультраструктуру α-казеина. Обработку УФ-излучением проводили при 254 нм [133]. Растворы α-казеина (образцы 10 мл) помещали в чашку Петри (диаметром 90 мм и высотой 15 мм) на глубину ~ 1 мм и подвергали воздействию УФ-С излучения (доза облучения 11,8 Вт/м$^2$) в течение 5 и 15 мин. Обработка УФ-излучением значительно снизила содержание во вторичной структуре белка β-листов и увеличила содержание α-спиралей и β-витков по сравнению с контролем. При 5-минутной УФ обработки наблюдалось значительное уменьшение β-листов по сравнению с обработкой 15 минут. УФ обработка вызывала разворачивание α-казеина со значительным снижением содержания β-слоев. УФ-С (15 мин) обработка была более эффективна в отношении снижения аллергенности α-казеина [133].

Таким образом, анализ различных научных исследований показал, что УФ обработка вызывает некоторые изменения сывороточных белков в основном из-за поглощения света ароматическими аминокислотами, особенно триптофаном. Они включают изменения третичной структуры белков, низкие уровни денатурации и агрегации, образование продуктов окисления, повышенную восприимчивость к протеолизу, снижение аллергенности, разрыв дисульфидных связей и увеличение сульфгидрильных групп [141]. Что касается казеина, УФ обработка существенно не изменяет его молекулярную массу. Однако при продолжительной обработке происходит сшивание белков, и снижение их аллергенности [132,133,142].

## 1.5. Применение УФ излучения для улучшения техно-функциональных свойств молочных продуктов

УФ излучение также применяют для улучшения питательных или сенсорных аспектов пищевых продуктов, в том числе совместно с традиционной тепловой обработкой пищевых сред. Поскольку в РФ производство продукции из сырого непастеризованного молока согласно ТР ТС 033/2013 запрещено, комбинация данных технологий для улучшения техно-функциональных свойств молочных продуктов является перспективной.

Несмотря на немногочисленные исследования, было показано, что УФ технология вследствие модификации белковых структур оказывает влияние на качество кисломолочных продуктов, способствуя улучшению их физическо-химических и реологических характеристик [67,75,124].

В исследовании Cilliers F.P. УФ излучение в сочетании с высокотемпературной кратковременной пастеризацией (73,5 °C, 15 сек) применялось к сырому молоку для производства сыра Чеддер. Авторы провели обширное исследование микробиологических, химических и сенсорных аспектов молока, облученного в турбуляторе SurePure Turbulator без рециркуляции при дозировке 1045 кДж/л. Было установлено, что УФ обработка не влияла на активность фермента сыворотки, лактопероксидазы. Также была зафиксирована аналогичная традиционной тепловой пастеризации антимикробная эффективность

УФ-С излучения, при этом содержания холестерина после комбинированной обработки было снижено на 18% [75].

В работе Priscilla Vásquez-Mazo было проведено исследование воздействия УФ облучения при производстве йогурта. Ультрафиолетовая обработка молока перед заквашиванием проводилась одновременно в процессе пастеризации при температуре 85 °С в течение 20 минут в условиях вакуума (400 мм.рт.ст) и без. Доза облучения составляла 1060 мДж/см$^2$. Для проведения эксперимента авторами был разработан УФ реактор для обработки молока в тонком слое. Система состояла из двух последовательно соединенных УФ ламп (30 Вт, длина волны - 253,7 нм) расположенных внутри стеклянной трубки объемом 0,22 л. После окончания обработки молоко охлаждали и заквашивали при температуре 43 °С симбиотическими культурами Streptococcus thermophilus и Lactobacillus bulgaricus. Исследуемые образцы йогурта хранились при 4 °С в течение 21 суток. Йогурт, полученный из обработанного в условиях вакуума УФ молока, показал на 60% меньше синерезиса и самый высокий индекс белизны, демонстрируя при этом аналогичные механические свойства по сравнению йогуртом, полученном без вакуума [67].

В работе Engin B. для обработки молока была разработана УФ система, оснащенная девятью лампами, мощность которых составляла 87 Вт. Выходная мощность каждой лампы составляла 28 Вт. Каждая лампа в блоке была четырехконтактной, одноточечной, с длиной волны 254 нм. Скорость потока молока составляла 1090 мл/мин. Интенсивность УФ излучения за один проход молока составляла 13,87 Дж/мл. На основе УФ обработанного молока в сравнении с сырым и пастеризованным (65 ºС, 30 мин) молоком были приготовлены образцы йогуртов. Наиболее высокие значения вязкости (24.75 ± 0.75 спс) и наименьшее значение синерезиса (3.29 ± 0.01 мл) были определены для йогурта, приготовленного из УФ обработанного молока. Значения вязкости для образцов йогурта на основе сырого и пастеризованного молока были ниже и составляли 17.85 ± 0.45 и 12.00 ± 0.01 спс соответственно [124].

Анализируя представленные результаты работ, можно заключить, что в технологии кисломолочных продуктов УФ обработка молока оказывает положительное влияние как на структурно-технологические свойства, включая вязкость и влагоудерживающую способность, так и на физико-химические показатели. Однако исследований в данной области проведено недостаточно, поэтому представляет интерес дальнейшее изучение влияния режимов УФ обработки на полимеризацию белков при формировании сгустка кисломолочных продуктов.

## Заключение к литературному обзору

В настоящее время проведен значительный объем исследований, позволивший определить рациональный диапазон бактерицидной обработки молока. Учитывая, что традиционная температурная обработка является обязательным элементом обеззараживания молока использование ультрафиолетового излучения целесообразно рассматривать как вспомогательный технологический процесс.

Помимо продления срока хранения или микробиологического контроля и безопасности пищевых продуктов, УФ обработка также оказывает влияние на структуру белков и их взаимодействия. Улучшение функциональных свойств молочных белков представляет большой коммерческий интерес, поскольку в перспективе возможно их использование в качестве ценных пищевых ингредиентов при разработке продуктов питания с желаемыми характеристиками.

Тем не менее, влияние условий УФ обработки, в том числе в потоке, на структурные модификации животных белков изучено недостаточно. Большинство исследований подобного рода базируются на использовании УФ камеры при различных дозах и условиях обработки, таких как расстояние от источника излучения, продолжительности и толщины слоя. Также предлагаемые для ультрафиолетовой обработки молока и других жидких пищевых продуктов установки отличаются большим разнообразием. С одной стороны, это свидетельствует о растущем интересе к использованию данного метода. С другой

стороны различия в схемных решениях, конструктивных особенностях, способах и параметрах подвода ультрафиолетового излучения к продукту и т.д. свидетельствуют о том, что наработанные в этой области данные не позволяют пока определиться с оптимальными техническими и технологическими параметрами установок в данной области.

Таким образом, отсутствует четкое разграничение условий УФ обработки, при которых белки денатурируют и полимеризуются без нежелательных продуктов окисления. В этой связи представляет интерес исследование различных параметров УФ облучения растворов сывороточных белков. Кроме того, разработка кисломолочного продукта с использованием модифицированных УФ воздействием сывороточных белков как пищевых ингредиентов позволит расширить ассортимент молочной продукции с улучшенными показателями качества, в том числе структурно-механическими свойствами.

# ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 2.1. Организация проведения исследований

Схема проведения исследований представлена на рисунке 2.1.

Рисунок 2.1 – Схема организации проведения исследований

## 2.2. Объекты исследований

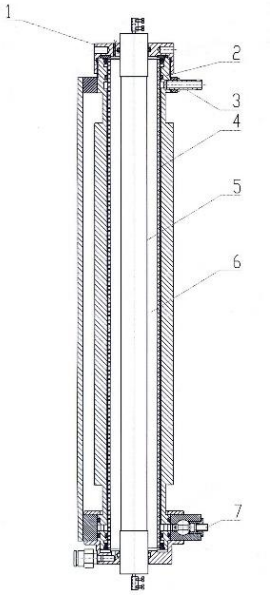
Объектами исследований являлись:

- концентрат сывороточных белков (изготовленный в соответствии с СТО ВНИИМС 045-2019) (массовая доля (м.д.) белка (73,76±0,12)% м.д. лактозы (17±0,21)%, м.д жира (3,5±0,5)%);
- обработанные ультрафиолетом растворы КСБ
- кисломолочные продукты

## 2.3. Используемое в работе оборудование

Для проведения исследований по УФ обработке растворов КСБ в работе был использован пилотный УФ реактор проточного типа, сконструированный в лаборатории технологии молочно-белковых концентратов ФГАНУ «ВНИМИ».

Внешний вид и схема УФ реактора представлены на рисунке 2.2.




1 – крышка;
2 – внешний металлический корпус модуля;
3 – выходной патрубок;
4 – кольцевое пространство;
5 – УФ лампа;
6 – внутренний кварцевый цилиндр;
7 – входной патрубок

Рисунок 2.2 – Параметры УФ реактора проточного типа

УФ реактор состоит из перистальтического насоса и ультрафиолетового модуля, представляющего собой металлический цилиндр, внутри которого расположен цилиндр из кварцевого стекла с бактерицидной лампой (поток излучения 7,3 Вт), генерирующей ультрафиолетовое излучение с пиковой длиной волны 254 нм. Кольцевое пространство (зазор) для потока молочного сырья

составляет 400 мкм. Объем зазора для обрабатываемого сырья составляет 13,15 мл. Длина лампы равна 356 мм, внутренний диаметр металлического цилиндра – 2,9 см, внешний диаметр цилиндра из кварцевого стекла – 2,98 см. При УФ обработке продукта скорость потока молочного сырья составляла 6,67 мл/с. Обработку продукта проводили в трех повторностях.

***Расчет дозы УФ облучения***

*Расчет поверхностной дозы УФ облучения*

Площадь внешней поверхности кварцевого цилиндра составляет 164,4 см$^2$. Объем кольцевого пространства – 13,15 мл.

Теоретическая интенсивность УФ излучения (I) по площади поверхности за один проход рассчитывалась следующим образом:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{7{,}3}{164{,}4} = 0{,}0444\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}\times\text{см}^2} = 44{,}4\,\frac{\text{мДж}}{\text{с}\times\text{см}^2} \qquad (2.1)$$

где: I – интенсивность УФ излучения, мДж/(с·см$^2$); W – выходной поток УФ излучения, Дж/с; S – площадь внешней поверхности кварцевого цилиндра, см$^2$.

Продолжительность удерживания (T) продукта в реакторе за один проход рассчитывали следующим образом:

$$T = \frac{V}{v} = \frac{13{,}15}{6{,}67} = 1{,}9725\ \text{с} \qquad (2.2)$$

где T – продолжительность удерживания продукта в реакторе за один проход, с; V – объем кольцевого пространства, мл; v – скорость потока, мл/с.

Таким образом, при скорости потока 6,67 мл/с и продолжительности пребывания продукта (T) в реакторе за один проход 1,9725 с поверхностная доза УФ излучения (D) с непрерывным потоком рассчитывается следующим образом:

$$D = I \times T = 44{,}4 \times 1{,}9725 = 87{,}579\,\frac{\text{мДж}}{\text{см}^2} \qquad (2.3)$$

Где D – доза излучения, мДж/см$^2$

*Расчет объемной дозы УФ облучения*

Объемная доза УФ излучения за один проход через реактор была рассчитана на основе скорости потока молочного сырья и потока излучения УФ лампы:

$$D = \frac{W}{v} = \frac{7{,}3}{6{,}67} = 1{,}095\,\frac{\text{Дж}}{\text{мл}} \qquad (2.4)$$

## 2.4. Методы исследований

При проведении экспериментальной части исследований использовали общепринятые физико-химические, микробиологические, математические (планирование эксперимента и обработка результатов) и др. методы.

В ходе выполнения исследований использованы общепринятые стандартизованные и хроматографические методы исследований, метод ротационной вискозиметрии, а также адаптированные под конкретные исследования методики.

Математическую и статистическую обработку результатов экспериментов проводили с использованием пакетов программ для ЭВМ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2011), MS Excel 2010.

Измерения физико-химических показателей образцов сухого и восстановленного КСБ и продуктов его переработки, а также опытных образцов кисломолочных продуктов осуществляли по следующим стандартам: отбор проб и подготовка их к испытанию – ГОСТ 3622-68, определение массовой доли жира – ГОСТ 5867-90, определение массовой доли белка методом Кьельдаля – ГОСТ Р 53951-2010; определение массовой доли лактозы – ГОСТ 51259-99; определение массовой доли влаги и сухого вещества – ГОСТ 3626-73; определение кислотности – ГОСТ Р 54669-2011; определение pH – ГОСТ Р 53359-2009.

Измерения микробиологических показателей опытных образцов кисломолочного продукта осуществляли по следующим стандартам: определение количества молочнокислых микроорганизмов и бактерий группы кишечных палочек – ГОСТ Р 53430-2009; выявление и определение количества бактерий вида *Escherichia coli* – ГОСТ 30726-2001; определение *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 30347-97; определение патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл – ГОСТ Р 52814-2007, ГОСТ 31659-2012; определение дрожжей и плесневых грибов – ГОСТ 10444.12-88.

Анализ органолептических показателей экспериментальных партий кисломолочных продуктов проводили в соответствии с ГОСТ Р 53438-2009.

***Определение эффективной вязкости***

Значения эффективной вязкости в исследуемых образцах определяли на ротационном вискозиметре DV-II+Pro (фирма Brookfield, США) с использованием шпинделя RV 2 с диапазоном от 100 до 80Т мПа·с, предназначенным для работы с неньютоновскими жидкостями. Для получения достоверных значений вязкости измерения проводили в предварительно подогретом образце до (20±2) °С в течение 1-5 мин. Был установлен оптимальный режим скорости вращения шпинделя для сывороточных продуктов 10 $с^{-1}$, при этом момент вращения был в диапазоне от 20 до 60%.

***Определение структурно-механических характеристик методом ротационной вискозиметрии***

Реологические характеристики образцов кисломолочных продуктов определяли на ротационном вискозиметре «Реотест-2», состоящий из 4 основных узлов: станины, переключающих приводов, измерительной части и измерительной головки, включающей в себя измерительный цилиндр (ротор), измерительную емкость (стакан) и термостат. С целью описания реологических свойств образцов йогуртов строили кривые текучести, которые определяли зависимость касательного напряжения от градиента напряжения на срез. Повышение скорости деформации производили увеличением числа оборотов измерительного цилиндра путем переключения привода (последовательность позиции 1а, 2а, 3а, ..., 12а), фиксируя значения, отсчитанные со шкалы индикаторного прибора. Установка требуемой ступени частоты вращения производилась путем поворота переключающего рычага. Для записи кривых гистерезиса фиксировали касательное напряжение для возрастающих и убывающих градиентов напряжения на срез.

По окончании измерения производили расчет касательного напряжения ( $\tau_r$ ) (уравнение 2.5) и динамической вязкости (n) (уравнение 2.6).

$$\tau_r = z \cdot a , \qquad (2.5)$$

где z – константа цилиндра $\frac{дн}{см^2} \cdot \frac{1}{дел.шкалы}$; а - значения, отсчитанные со шкалы индикаторного прибора (деления шкалы)

$$n = \frac{\tau_r}{D_r} \cdot 100, \qquad (2.6)$$

где $D_г$ – градиент напряжения на срез, сек$^{-1}$

Для расчета показателей, характеризующих устойчивость структуры кисломолочного продукта к механическому воздействию, определяли следующие показатели [143]:

Степень потери вязкости, %:

$$П_{\eta=(\eta_н-\eta_p)\cdot 100/\eta_н}, \qquad (2.7)$$

где $\eta_н$ – первоначальная вязкость неразрушенной структуры (вязкость в момент включения прибора);

$\eta_р$ – вязкость максимально разрушенной структуры (последнее измерение).

Коэффициент механической стабильности, характеризующий устойчивость продукта к разрушению (КМС):

$$КМС = \frac{\eta_н}{\eta_р}, \qquad (2.8)$$

Для оценки степени тиксотропности (СТ) исследуемых образцов были построены петли гистерезиса на основе данных об их структурно-механических характеристиках и рассчитаны соответствующие площади. Результаты расчета площади основывались на вычислении определенного интеграла разности функций прямого и обратного хода кривых гистерезиса. Определенный интеграл численно равен площади фигуры, ограниченной осью абсцисс, прямыми x=a, x=b и графиком функции f(x)

$$СТ = \int_{нг}^{вг} f(x)\, dx, \qquad (2.9)$$

где нг – нижняя граница, вг – верхняя граница исследуемого интервала.

***Оценка растворимости белка***

Растворимость белка обработанных УФ облучением растворов КСБ определяли методом Sindayikengera S. с некоторыми изменениями [144].

Исследуемые образцы в количестве 10 мл центрифугировали (RCF=10000 g, 30 мин, 20 ºС) на центрифуге SuperVario-N, Германия. По методу Кьельдаля определяли содержание белка в исходных образцах и в супернатах. Процент растворимости белка в каждой суспензии рассчитывали по отношению белка в надосадочной жидкости к белку в исходном образце.

***Определение содержания β-лактоглобулина***

Для оценки содержания β-лактоглобулина в растворах КСБ использовалась хроматографическая колонка ReproSil-Pur 300 ODS-3.5мкм, 250 х 4,6 мм с химически привитой октодецилсиланольной фазой, способной удерживать белки за счет гидрофобных связей и размером пор 300 Å, позволяющим пептидам полноценно связываться с неподвижной фазой.

Разделение проводили при помощи хроматографической системы фирмы Маэстро (Россия), оборудованной двумя насосами и динамическим смесителем, которые позволяют проводить градиентное элюирование аналитов в программируемом составе подвижной фазы. В качестве компонентов подвижной фазы были использованы бидистиллированная вода с добавлением в качестве ион-парного реагента трифторуксусной кислоты (ТФУ) в количестве 0,1% по объему и ацетонитрила, как органического растворителя так же с добавкой ТФУ 0,1% по объему. Анализ образцов проводили при комнатной температуре со скоростью потока подвижной фазы 1мл/мин. Объем вводимой пробы составил 20 мкл. Долю ацетонитрила в процессе проведения анализа увеличивали с 5% до 60% в течение 30 мин. Обнаружение проводили при 214 нм с использованием спектрофотометрического детектора.

***Оценка поверхностного натяжения***

Поверхностное натяжение растворов КСБ измеряли на приборе KRUSS DSA25 при 20 °С и относительной влажности воздуха 50%. В методе измерения капля жидкости висит на кончике иглы в воздушной среде. Принцип действия прибора основан на измерениях геометрических параметров изображения капли жидкости и расчета значения поверхностного натяжения с помощью программного обеспечения (программы), установленного на ПК.

***Определение содержания свободных сульфгидрильных групп***

Концентрацию свободных сульфгидрильных (SH) групп в необработанных и УФ обработанных продуктах определяли методом Siddique M. A. B. с некоторыми небольшими модификациями [130]. Для каждого анализа исследуемый образец разбавляли до концентрации сухих веществ 2 г/л в буфере Tris-HCl 50 мМ (pH 7,0). Затем по 2,75 мл каждого разбавленного раствора помещали в центрифужную пробирку и добавляли к 0,25 мл раствора 5,5'-дитиобис-(2-нитробензойная кислота) (ДТНБ) с концентрацией 1 г/л в 50 мМ трис-HCl-буфере. После инкубации в темноте при комнатной температуре в течение 30 мин измеряли оптическую плотность при 412 нм с помощью УФ-видимого спектрофотометра (V-650, Jasco Europe Srl, Италия). Концентрацию сульфгидрильных групп (в мкмоль SH/г белка) рассчитывали с использованием молярной константы абсорбции, равной $1{,}36 \times 10^4$ $М^{-1}$ $см^{-1}$ [130].

***Определение влагоудерживающей способности (ВУС)***

ВУС оценивали по методу Vásquez-Mazo P. путем измерения разницы в массе супернатанта образцов сквашенного кисломолочного продукта объемом 10 мл до и после центрифугирования (RSF = 1200 g; 10 мин; 4 °C) с использованием центрифуги с охлаждением (Sigma 3-30KHS) [67]. Измерения проводили в трех повторностях. ВУС определяли по следующей формуле:

$$\text{ВУС}, \% = \left(1 - \frac{M_1}{M_2}\right) \times 100, \qquad (2.10)$$

где $M_1$ – масса супернатанта, г, $M_2$ – масса образца сквашенного продукта до центрифугирования, г

***Оценка предельного напряжения сдвига***

Для расчета предельного напряжения сдвига кисломолочных модельных систем определяли степени пенетрации на пенетрометре PNR 10 с использованием конуса массой 15 г. Метод заключается в измерении глубины, на которую погружаются иглы пенетрометра в испытуемый образец при заданной нагрузке. Температура измеряемых образцов составляла (14±1) ºС, продолжительность измерения – 5 сек. Результаты фиксировали с точностью до десятых долей миллиметра.

По найденному значению глубины погружения рассчитывали предельное напряжение сдвига, используя формулу Ребиндера:

$$\tau_0 = К_\alpha \cdot F/h^2, \qquad (2.11)$$

Где $\tau_0$ – предельное напряжение сдвига, Па;

$К_\alpha$ – константа конуса, зависящая от величины угла при его вершине (1,109);

F – величина вертикальной внедряющей силы, Н;

$h$ – глубина погружения конуса, м.

Величину вертикальной внедряющей силы определяли по формуле 2.12:

$$F = m \cdot g, \qquad (2.12)$$

где $m$ – масса конуса и груза, кг;

$g$ – ускорение свободного падения, м/с$^2$.

***Определение органолептических показателей***

Органолептические исследования осуществлялась согласно ГОСТ ISO 6658-16 ГОСТ Р ISO 22935-2011. Углубленный анализ органолептических показателей экспериментальных партий кисломолочного продукта проводили с применением теста «дуо-трио» по ГОСТ ISO 10399-2015.

Органолептическую оценку исследуемых кисломолочных продуктов оценивала комиссия из 5-ти человек балльным методом на основе пятибалльной шкалы: 1 балл – признак отсутствует; 2 балла – интенсивность характеристики очень слабая (на грани порога распознавания); 3 балла – интенсивность характеристики слабая, но хорошо распознаваемая; 4 балла – интенсивность характеристики умеренная; 5 баллов – интенсивность характеристики очень сильная.

Рекомендуемые сроки годности определяли в соответствии с МУК 4.2.1847-04.

# ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 3.1. Оценка воздействия ультрафиолетового облучения на физико-химические показатели растворов концентрата сывороточных белков

Основной задачей данного этапа являлось получение растворов сывороточных концентратов и обработка их ультрафиолетовым излучением в различных дозах.

На начальном этапе исследований было проведено восстановление концентрата сывороточных белков при (40±2) ºС и непрерывном перемешивании до массовой доли белка 3,0; 5,0 и 7,0 %. Растворы белков выдерживалась при постоянной температуре (40±2) °С в течение 30 минут.

В полученных растворах регулировали уровень pH 30% р-ом NaOH до активной кислотности 7,0 ед. pH. Далее растворы были подвергнуты УФ обработке в расчетных дозах облучения 37, 74, 111, 148, 185 Дж/мл. В процессе УФ обработки температура обрабатываемых растворов составляла (30±1) ºС вследствие воздействия тепла от УФ лампы. В таблице 3.1 представлены рассчитанные по формуле 2.4 объемные дозы УФ облучения в зависимости от продолжительности воздействия и объема облучаемого продукта, а также показатели м.д. белка и сухих веществ полученных растворов. В полученных образцах (таблица 3.1) оценивали растворимость белка (рисунки 3.1, 3.2) и содержание β-лактоглобулина (рисунок 3.3).

Установлено, что с увеличением дозы УФ облучения растворов КСБ снижалась растворимость белка, вероятно, в результате агрегации белковых молекул. При этом наибольшее воздействие УФ обработка оказала на растворимость раствора КСБ с м.д. белка 3% (рисунок 3.1). Растворимость белка растворов КСБ с м.д. белка 5 и 7% снижалась незначительно с 98,48% до 93,18% и с 97,12% до 94,10% соответственно (рисунок 3.2).

Таблица 3.1 – Дозы УФ облучения растворов КСБ

| № образца раствора КСБ | Массовая доля белка, % | Содержание сухих веществ, % | Доза УФ облучения, Дж/мл |
|---|---|---|---|
| Контроль 1 | 3,21±0,12 | 3,85±0,4 | 0 |
| 2 | 3,19±0,12 | 3,92±0,4 | 37 |
| 3 | 3,22±0,12 | 3,95±0,4 | 74 |
| 4 | 3,20±0,12 | 3,98±0,4 | 111 |
| 5 | 3,22±0,12 | 3,87±0,4 | 148 |
| 6 | 3,19±0,12 | 3,88±0,4 | 185 |
| Контроль 7 | 5,28±0,12 | 6,38±0,4 | 0 |
| 8 | 5,27±0,12 | 6,32±0,4 | 37 |
| 9 | 5,26±0,12 | 6,35±0,4 | 74 |
| 10 | 5,11±0,12 | 6,32±0,4 | 111 |
| 11 | 5,26±0,12 | 6,31±0,4 | 148 |
| 12 | 5,24±0,12 | 6,37±0,4 | 185 |
| Контроль 11 | 7,29±0,12 | 8,87±0,4 | 0 |
| 12 | 7,24±0,12 | 8,79±0,4 | 37 |
| 13 | 7,15±0,12 | 8,75±0,4 | 74 |
| 14 | 7,18±0,12 | 8,81±0,4 | 111 |
| 15 | 7,22±0,12 | 8,90±0,4 | 148 |
| 16 | 7,21±0,12 | 8,89±0,4 | 185 |

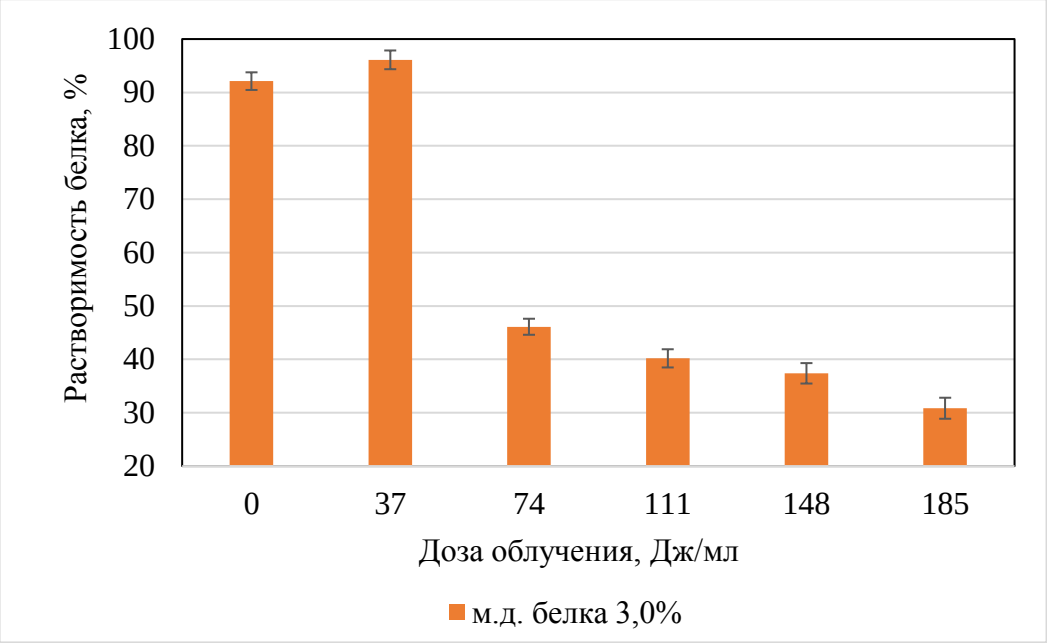



Рисунок 3.1 – Профиль растворимости исследуемых образцов

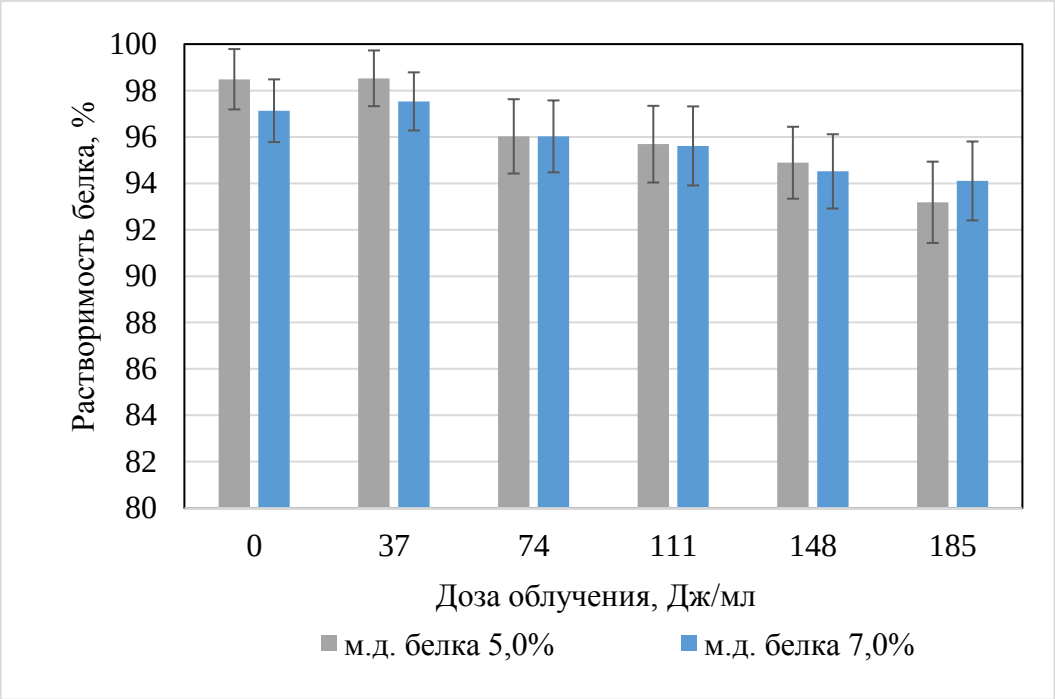



Рисунок 3.2 – Профиль растворимости исследуемых образцов

Помимо снижения растворимости также снижалось содержание β-лактоглобулина (рисунок 3.3). Анализ полученных данных показал, что наибольшее воздействие УФ облучение оказало на раствор КСБ с м.д. белка 3,0 %.

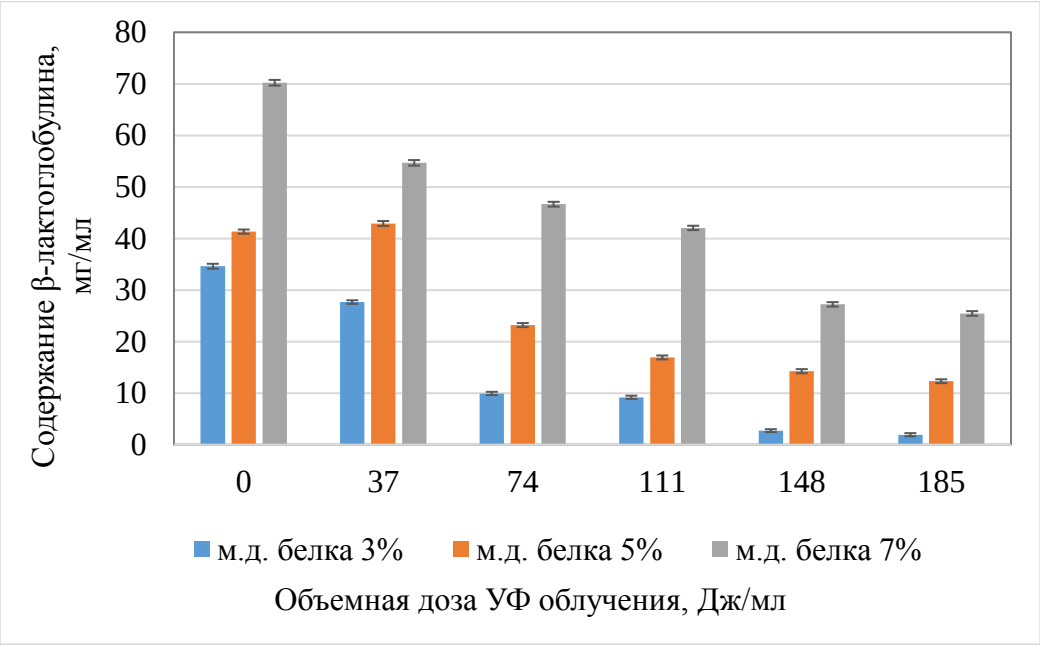



Рисунок 3.3 – Зависимость содержания β-лактоглобулина от дозы УФ облучения

Таким образом, суммируя полученные результаты исследований можно предположить, что снижение растворимости белка, а также содержания β-лактоглобулина в исследуемых растворах КСБ при сохранении м.д. белка (таблица 3.1) является косвенным доказательством инициирования процесса полимеризации белковых структур в результате УФ облучения. Кроме того, можно предположить, что в результате полимеризации возрастают гидрофильные свойства сывороточных белков вследствие высвобождения гидрофильных центров после денатурации и частичной агрегации белков. При этом наибольший эффект УФ облучение оказывало на раствор белков с меньшей концентрацией сухих веществ (м.д. белка 3,21±0,12; содержание сухих веществ 3,85±0,4) из-за ограниченной способности проникать в мутные жидкости.

Для подтверждения модификации белковых структур на следующем этапе исследований необходимо было оценить влияние УФ облученных растворов КСБ с м.д. белка 3,0% на влагоудерживающую способность и эффективную вязкость сквашенных сывороточных растворов.

## 3.2. Оценка влияния УФ облучения на процесс сквашивания раствора концентрата сывороточных белков

Исходя из полученных данных с целью оценки принципиальной возможности применения УФ обработки для улучшения консистенции ферментированных сывороточных продуктов растворы КСБ с м.д. белка 3,0% (таблица 3.1), подвергнутые различной дозе УФ облучения, сквашивали термостатным способом при 37 ºС до значения активной кислотности 4,7 ед. pH. Схема получения сквашенных сывороточных растворов представлена на рисунке 3.4.

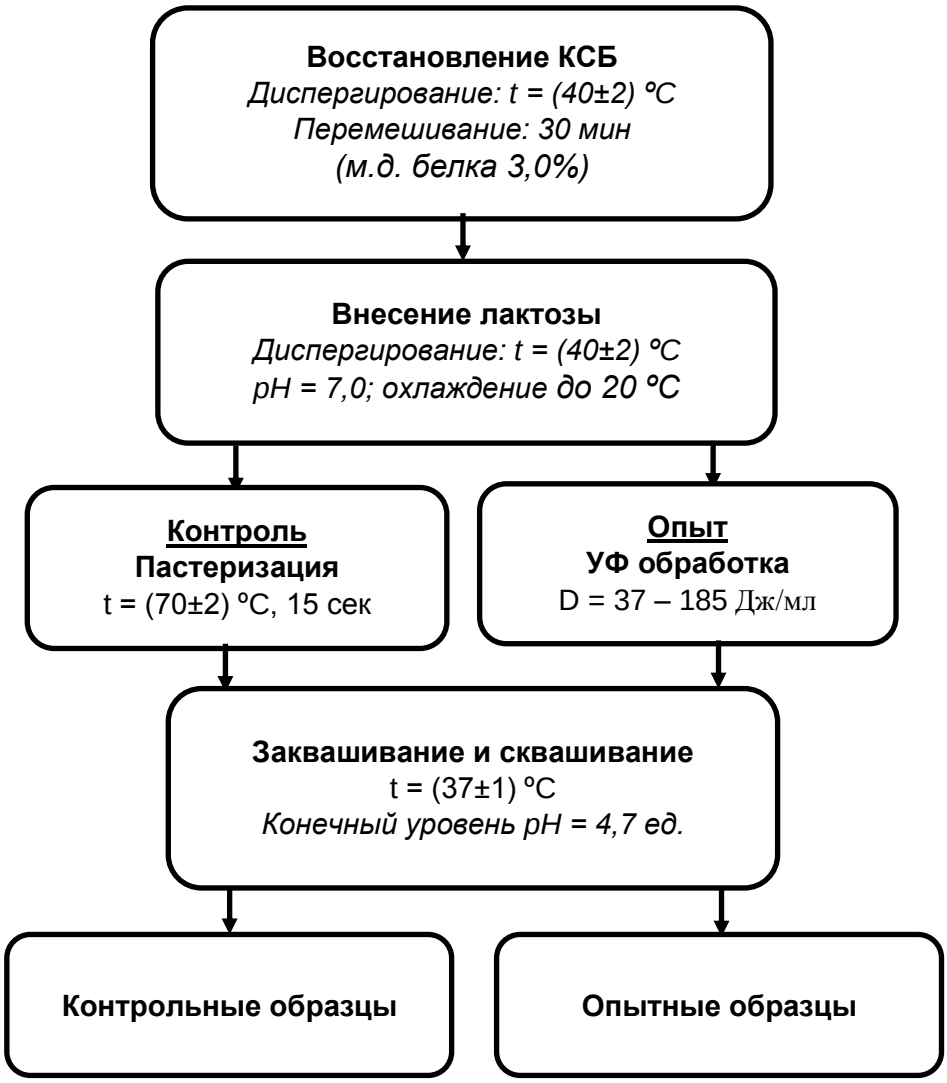



Рисунок 3.4 – Схема получения сывороточных напитков

Для сквашивания была использована производственная бактериальная закваска АТС (ТУ 9229-369-00419785-04) из коллекции Центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «ВНИМИ», состоящую из ацидофильной палочки и термофильного стрептококка (*Lactobacillus acidophilus и Streptococcus thermophilus* в количестве $1x10^9$ КОЕ/г, не менее). Для обеспечения жизнедеятельности заквасочной микрофлоры дополнительно вносили лактозу до общего содержания в смеси 2,0%.

Графическая иллюстрация процесса кислотообразования продуктов представлена на рисунке 3.5.

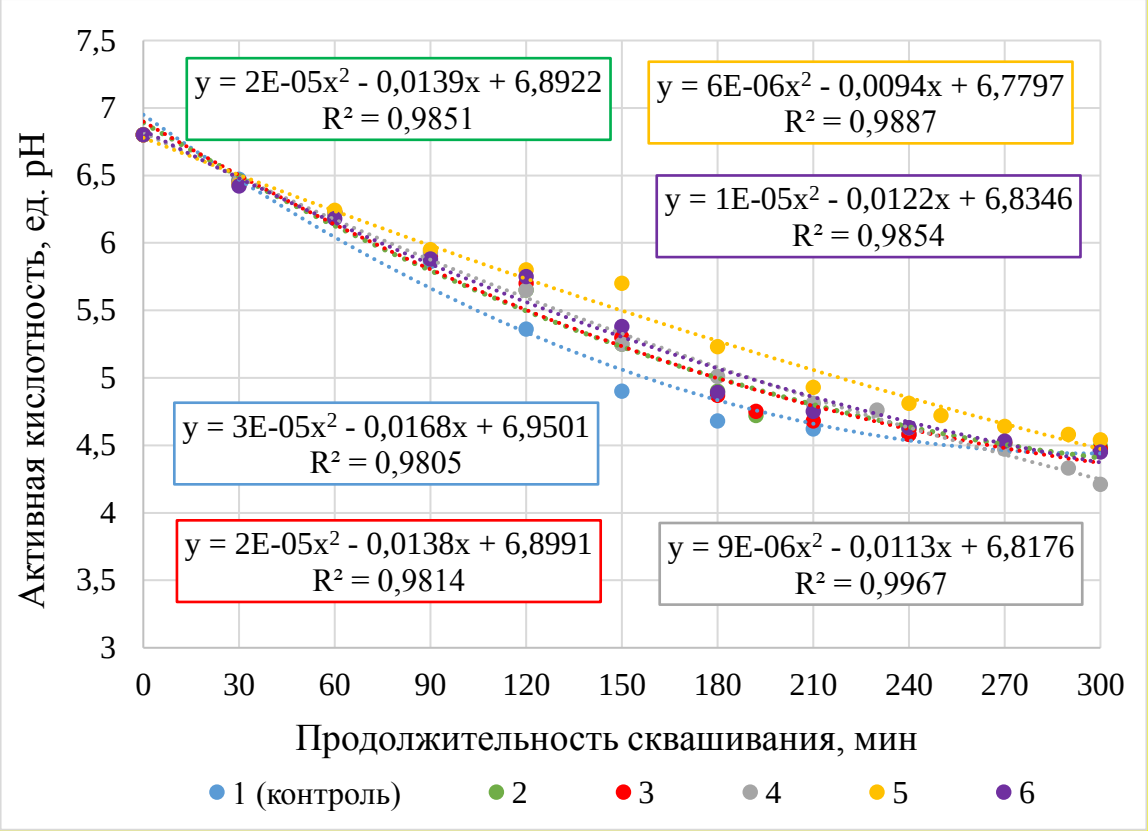



Рисунок 3.5 – Изменение активной кислотности в процессе сквашивания

Данные по продолжительности сквашивания исследуемых образцов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Продолжительности кислотообразования исследуемых модельных систем сквашенных продуктов

| Наименование образца | Доза облучения, Дж/мл | Продолжительность сквашивания, мин |
|---|---|---|
| Контроль 1 | 0,00 | 180 ± 4 |
| 2 | 37 | 190 ± 4 |
| 3 | 74 | 192 ± 4 |
| 4 | 111 | 230 ± 4 |
| 5 | 148 | 250 ± 4 |
| 6 | 185 | 216 ± 4 |

Представленные данные свидетельствуют о последовательном возрастании продолжительности сквашивания с увеличением дозы УФ облучения от 74 до 148 Дж/мл. Для контрольного образца продолжительность кислотообразования до достижения уровня pH 4,7 ед. составила 3 часа, для образцов УФ 1, УФ 2, УФ 3 – 3 часа 12 мин, 3 часа 50 мин, 4 часа 10 мин соответственно. Увеличение продолжительности формирования сгустка вероятно связано с возрастанием степени полимеризации белкового кластера. Однако при максимальном уровне УФ дозы 185,02 Дж/мл наблюдалось сокращение продолжительности сквашивания образца УФ 4 до 3 часов 36 мин по сравнению с образцом УФ 3. Это могло произойти вследствие необратимых окислительных процессов, происходящих в молекулах сывороточных белков, что согласуется с данными других ученых. Так, в одном из исследований было зафиксировано образование продуктов окисления 1,0 и 5,0 % растворов сывороточных белков (N-формилкинуренин из триптофана и дитирозин из тирозина) при высоких дозах облучения (от 6,6 до 0,285 кДж/л) [145].

В процессе охлаждения визуально в контрольном образце 1 было зафиксировано осаждение компонентов системы, вызванное, вероятно, низкой коллоидной стабильностью вследствие пастеризации. Через сутки после

сквашивания в полученных образцах продукта оценивали ВУС и эффективную вязкость. Данные представлены на рисунках 3.6 и 3.7.

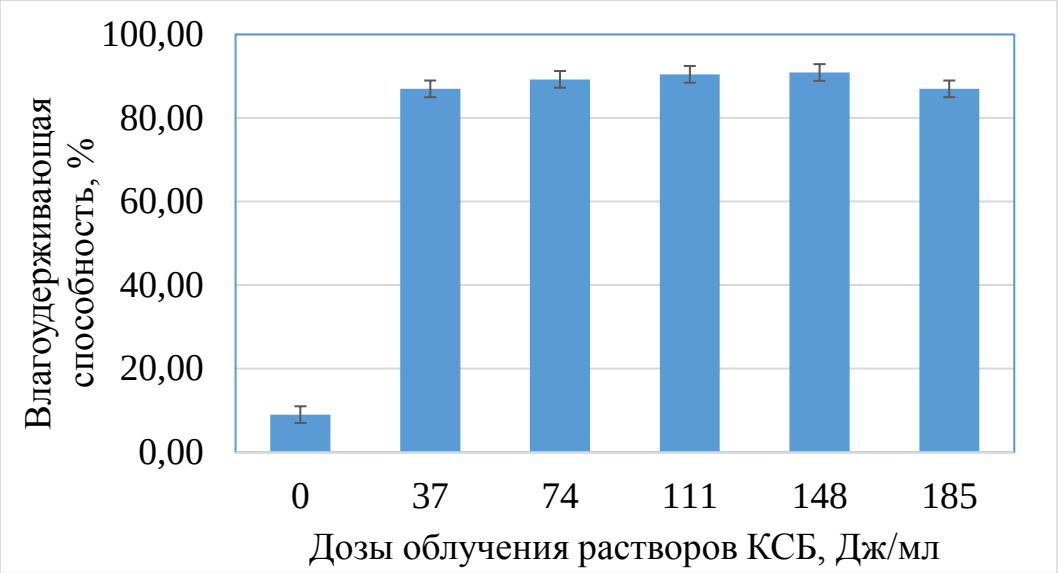



Рисунок 3.6 – Показатели ВУС модельных систем сквашенных сывороточных продуктов

Исходя из полученных данных в сквашенных растворах КСБ с увеличением дозы УФ облучения от 37 до 148 Дж/мл было установлено резкое возрастание значений ВУС от 86 до 91 %. При более высокой дозе 185 Дж/мл было зафиксировано незначительное снижение значений ВУС до 87%. Как и в случае оценки ВУС, показатели вязкости в исследуемых образцах (рис. 3.7) стабильно возрастали до дозы облучения 148 Дж/мл. Значение вязкости контрольного образца составило $3{,}59 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Максимальное значение вязкости 2,17 Па·с соответствовало образцу с дозой облучения 148 Дж/мл. При дозе 185 Дж/мл в сквашенном образце показатели вязкости были снижены до 1,96 Па·с.

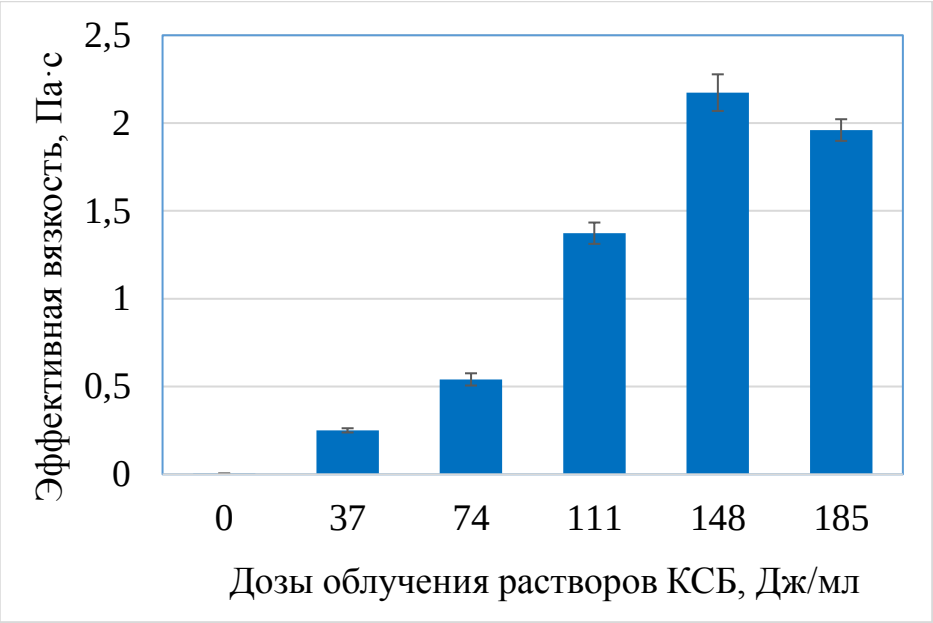



Рисунок 3.7 – Зависимость изменения эффективной вязкости от дозы УФ облучения

Таким образом, на основании проведенных исследований была установлена максимальная доза облучения 148 Дж/мл, при которой в сквашенном растворе КСБ с содержанием белка 3,0% достигаются высокие показатели ВУС и вязкости.

Как правило, по мере увеличения дозы УФ излучения степень окисления липидов и, соответственно, неприятного запаха в молочных продуктах увеличивается. Данный эффект является результатом окисления остатков ненасыщенных жирных кислот в липидах и фосфолипидах молока. Фотодеградация белков также приводит к появлению неприятного запаха и органолептическим изменениям. За изменение запаха молочного сырья после его УФ обработки отвечает повышение концентрации таких летучих соединений, как альдегиды и кетоны [122].

Поскольку УФ обработка вызывает специфический запах и вкус продукта, необходимо было исследовать воздействие различных доз УФ облучения на органолептические свойства, используя неординарные расширенные категории дескрипторов. Учитывая сильный неприятный запах исследуемых сквашенных растворов КСБ, на данном этапе исследований оценивали только профиль запах. Для характеристики профиля запаха было предложено пять терминов

дескрипторов: кисломолочный, окисленный, кормовой, прогорклый, аммиачный. Оценку проводили балльным методом на основе пятибалльной шкалы: 1 балл – признак отсутствует; 2 балла – интенсивность характеристики очень слабая (на грани порога распознавания); 3 балла – интенсивность характеристики слабая, но хорошо распознаваемая; 4 балла – интенсивность характеристики умеренная; 5 баллов – интенсивность характеристики очень сильная.

На рисунке 3.8 представлены результаты оценки профиля запаха исследуемых сквашенных растворов КСБ.

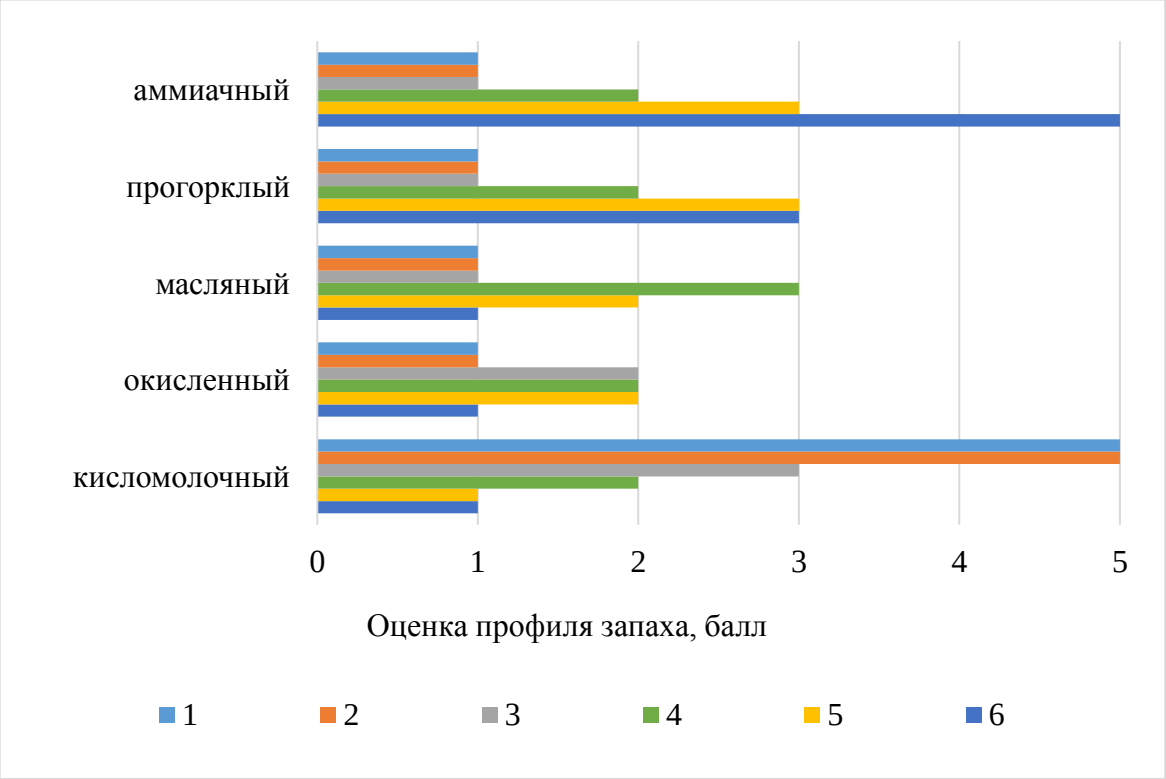



Рисунок 3.8 – Профиль запахав сквашенных растворов КСБ

Оценка профиля запаха показала, что с увеличением дозы УФ облучения в продуктах ослабевал кисломолочный и усиливается посторонний запах. При дозах облучения больше 111 Дж/мл к окисленному запаху начинали примешиваться прогорклый, масляный и аммиачный. При минимальной исследуемой дозе облучения 37 Дж/мл профиль запаха сквашенного раствора КСБ характеризовался кисломолочным запахом с незначительным присутствием окисленного, исчезающего через 20 мин после обработки.

По результатам проведенного комплекса исследований можно заключить, что УФ обработка положительно влияет на ВУС и вязкость сквашенного раствора КСБ с содержанием белка 3,0%. Показано, что с увеличением дозы УФ обработки продолжительность сквашивания увеличивается. В то же время, воздействие УФ способствует повышению коллоидной стабильности продукта и, как следствие, предотвращает осаждение компонентов системы по окончании технологического процесса. Однако в результате длительной УФ обработки в растворах КСБ отчетливо ощущается неприятный аммиачный запах. На основе полученного анализа профиля запаха исследуемых образцов сквашенных растворов дальнейшие исследования проводили на основе образца №2 (м.д. белка 3,0 %; 37 Дж/мл).

На третьем этапе исследований необходимо было оценить влияние внесения УФ обработанного раствора КСБ на свойства модельных кисломолочных систем. Раствор КСБ вносили в количестве 20,0; 40,0 и 60,0% в рецептуру продукта. Содержание сухих веществ согласно ТР ТС 033/2013 для кисломолочного продукта регулировали внесением сухого обезжиренного молока до минимального содержания 7,8%. В качестве контрольных образцов выступали аналогичные смеси без УФ обработки. В таблице 3.3 представлены модельные системы (МС) исследуемых образцов кисломолочных продуктов.

Таблица 3.3 – Модельные системы кисломолочных продуктов

| Модельные кисломолочные системы (МС) | | Доза УФ облучения, Дж/мл | Доза внесения р-ра КСБ, % | Массовая доля белка в готовом продукте, % |
|---|---|---|---|---|
| МС 1 | КП 1 | 0 | 20 | 3,34±0,12 |
| | КП 1-УФ | 37 | | 3,33±0,12 |
| МС 2 | КП 2 | 0 | 40 | 3,62±0,12 |
| | КП 2-УФ | 37 | | 3,64±0,12 |
| МС 3 | КП 3 | 0 | 60 | 3,90±0,12 |
| | КП 3-УФ | 37 | | 3,92±0,12 |

Полученные смеси пастеризовали при (86±1) ºС в течение 10 мин, охлаждали и сквашивали при температуре (37±2) ºС до значения активной кислотности 4,7 ед. pH. По окончании сквашивания образцы хранились 24 часа при температуре (4±2) ºС для дальнейшего анализа. В полученных продуктах оценивали структурно-механические и прочностные характеристики. На рисунке 3.9 представлены результаты исследований динамической вязкости исследуемых модельных систем.

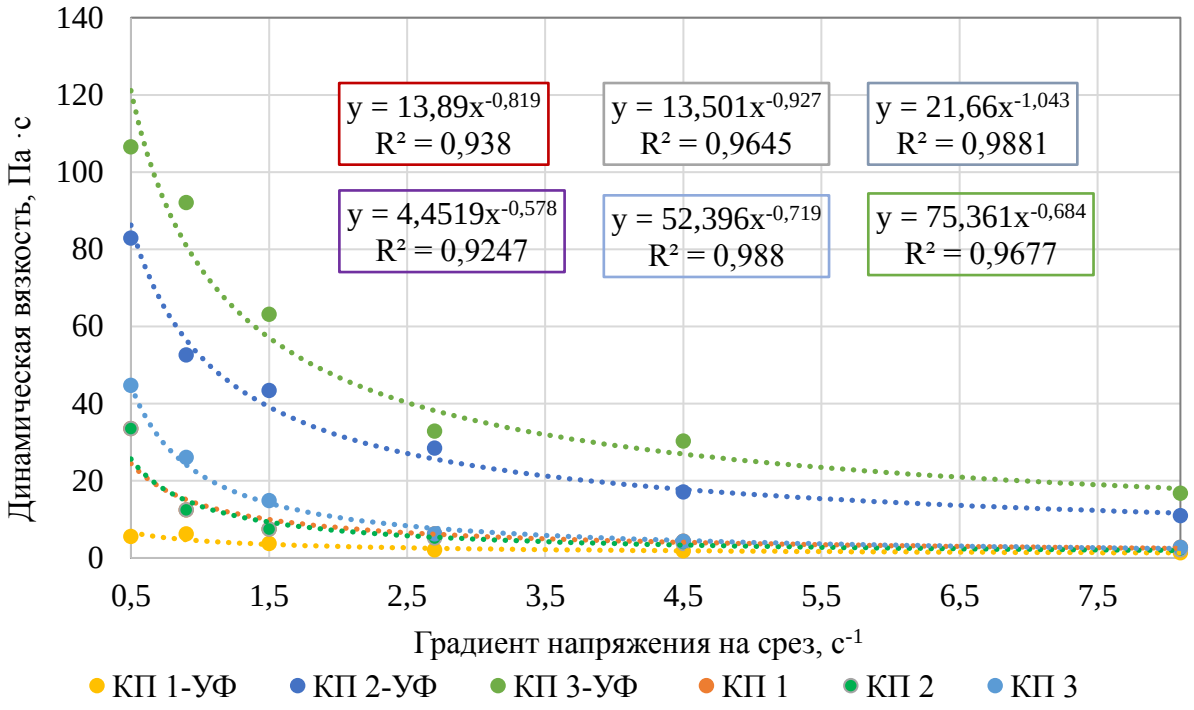



Рисунок 3.9 – Зависимость изменения динамической вязкости от дозы УФ облучения и дозы внесения в продукт раствора КСБ в модельных кисломолочных системах

Анализ кривых кинетики деформации показал (рисунок 3.8), что зависимость динамической вязкости опытных образцов кисломолочных продуктов от скорости сдвига носит степенной характер. В исследуемом диапазоне скоростей деформации (0,5–8,1) $с^{-1}$ наибольшие показатели вязкости соответствовали подвергнутым УФ облучению образцам с содержанием КСБ 40 и 60%. С дальнейшим ростом скорости деформации (в интервале 8,1 – 218,7 $с^{-1}$) вязкость всех образцов кисломолочного продукта постепенно снижалась, приближаясь к постоянному значению.

Показатели устойчивости структуры исследуемых модельных систем кисломолочного продукта к разрушению при механическом воздействии

представлены в таблице 3.4. Анализ данных показал, что наибольшей степенью потери вязкости ($СП_{\eta}$) характеризовались образцы без УФ воздействия. В качестве количественного показателя устойчивости продукта к механическому разрушению оценивали коэффициент механической стабильности (КМС). Чем больше КМС стремится к 1, тем продукт характеризуется большей устойчивостью к разрушению. На данном этапе исследований наилучшие показатели КМС соответствовали образцам, подвергнутым УФ облучению (таблица 3.4). Наилучшими показателями степени восстановления структуры (степени тиксотропности (СТ)) характеризовались контрольные образцы (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Структурно-механические характеристики модельных систем кисломолочных продуктов

| Исследуемые МС | $СП_{\eta}$, % | КМС | СТ, % |
|---|---|---|---|
| КП 1 | 66,7 | 3,0 | 89 |
| КП 2 | 70 | 3,3 | 79 |
| КП 3 | 77,5 | 4,4 | 54 |
| КП 1-УФ | 0,0 | 1,0 | 76 |
| КП 2-УФ | 42,8 | 1,75 | 60 |
| КП 3-УФ | 33,3 | 1,5 | 44 |

На рисунке 3.10 представлены показатели предельного напряжения сдвига исследуемых модельных систем кисломолочных продуктов. С повышением дозы внесения раствора КСБ в состав модельной системы (рис. 3.10) в контрольных образцах показатели предельного напряжения сдвига практически не изменялись. В то же время в МС после УФ обработки данные показатели возрастали (рис. 3.10).

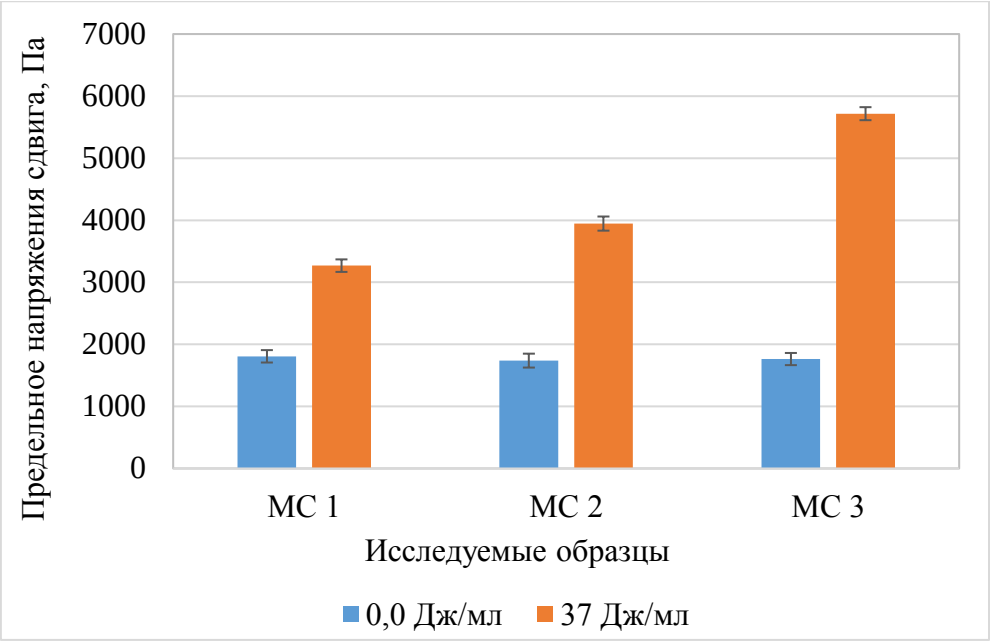



Рисунок 3.10 – Значения предельного напряжения сдвига модельных систем кисломолочных продуктов

Анализируя совокупность полученных результатов можно охарактеризовать тип структуры контрольных образцов как коагуляционную, поскольку их структура имеет высокую степень тиксотропности, но при этом они обладают пониженной прочностью. В то же время тип структуры опытных образцов кисломолочных продуктов, полученных с применением УФ обработки, можно охарактеризовать как конденсационно-кристализационные, поскольку с повышением дозы УФ облучения структура продукта необратимо разрушается в результате деформации (не обладает тиксотропными свойствами), проявляя повышенную прочность (рисунок 3.9), но имея упруго-хрупкие свойства из-за жесткости скелета структуры.

На рисунке 3.11 представлены показатели влагоудерживающей способности исследуемых модельных систем кисломолочных продуктов.

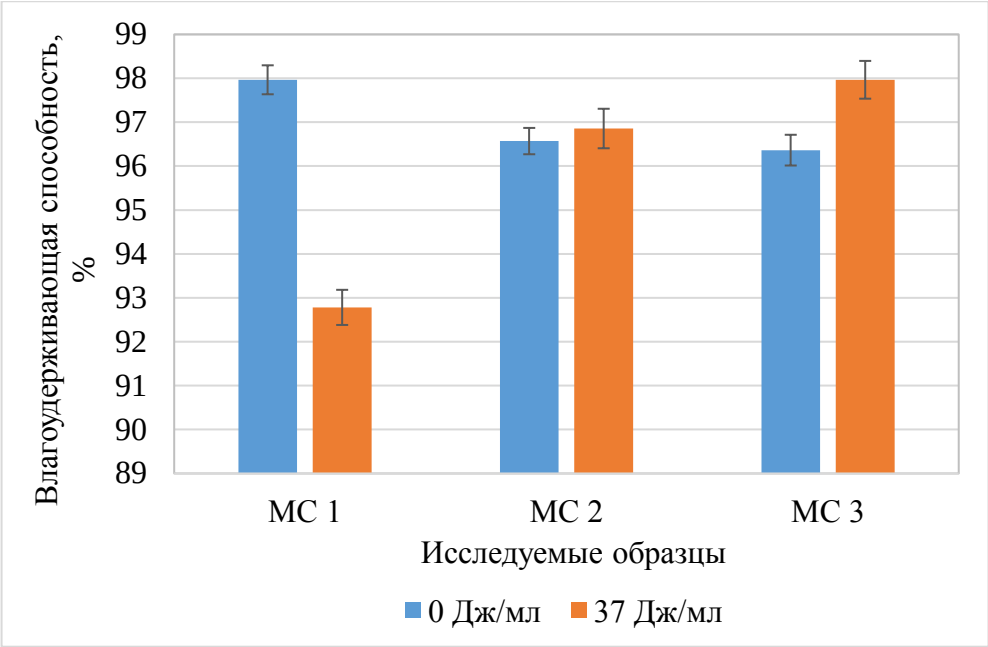



Рисунок 3.11 – Показатели ВУС модельных систем кисломолочных продуктов

Анализ данных (рис. 3.11) показал, что в контрольных образцах с повышением дозы внесения раствора КСБ показатели ВУС снижались. В то же время в опытных образцах после УФ воздействия значения ВУС, напротив, возрастали. Последнее можно объяснить повышением гидрофильных свойств УФ обработанных продуктов (рис. 3.10) вследствие полимеризации белковых структур.

По результатам проведенного комплекса исследований можно заключить, что УФ обработка оказывает значительное влияние на структурно-механические показатели и влагоудерживающую способность модельных систем кисломолочных продуктов. Показано, что УФ обработка способствует повышению вязкостных характеристик. Установлены зависимости повышения влагоудерживающей способности и предельного напряжения сдвига от возрастания дозы внесения раствора КСБ, подвергнутого УФ облучению в дозе 37 Дж/мл. В то же время органолептическая оценка показала отсутствие в продукте постороннего запаха, свойственного образцам продуктов, обработанных при более высоких дозах УФ облучения (рис. 3.8.).

Таким образом, поскольку УФ обработка при дозе 37 Дж/мл раствора КСБ показала улучшение исследуемых показателей кисломолочных МС, необходимо

было провести дополнительные исследования в более узком диапазоне доз УФ облучения.

### 3.3. Изучение влияния узкого диапазона доз УФ облучения на физико-химические и микробиологические свойства растворов концентратов сывороточных белков

Основной задачей данного этапа исследований являлось изучение влияния узкого диапазона доз УФ облучения на физико-химические, микробиологические и структурно-механические свойства растворов КСБ. Также необходимо было оценить структурную модификацию и агрегацию сывороточного белка путем определения свободных SH-групп.

Сухой КСБ (м.д. белка 73,76%) восстанавливали до содержания белка 3,0; 5,0 и 7,0 %. Полученные растворы были подвергнуты УФ обработке в расчетных дозах облучения 15,0; 30,0 и 45,0 Дж/мл в тонком слое (400 мкм) с применением УФ установки проточного типа (поток излучения 7,3 Вт, 254 нм). Контрольные образцы не подвергались облучению (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Физико-химические показатели и дозы УФ облучения растворов КСБ

| **№ образца раствора КСБ** | **Массовая доля общего белка, %** | **Содержание сухих веществ, %** | **Доза облучения, Дж/мл** |
|---|---|---|---|
| Контроль 17 | 3,30±0,12 | 3,85±0,4 | 0 |
| 18 | 3,32±0,12 | 3,94±0,4 | 15,0 |
| 19 | 3,31±0,12 | 4,03±0,4 | 30,0 |
| 20 | 3,35±0,12 | 3,98±0,4 | 45,0 |
| Контроль 21 | 5,21±0,12 | 6,40±0,4 | 0 |
| 22 | 5,13±0,12 | 6,28±0,4 | 15,0 |

Продолжение таблицы 3.5

| | | | |
|---|---|---|---|
| 23 | 5,06±0,12 | 6,32±0,4 | 30,0 |
| 24 | 5,08±0,12 | 6,30±0,4 | 45,0 |
| Контроль 25 | 7,46±0,12 | 8,91±0,4 | 0 |
| 26 | 7,19±0,12 | 8,78±0,4 | 15,0 |
| 27 | 7,07±0,12 | 8,71±0,4 | 30,0 |
| 28 | 7,21±0,12 | 8,75±0,4 | 45,0 |

В полученных образцах оценивали количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (рис. 3.12), растворимость белка (рис. 3.13), содержание β-лактоглобулина (рис. 3.14) и поверхностное натяжение (рис. 3.15).

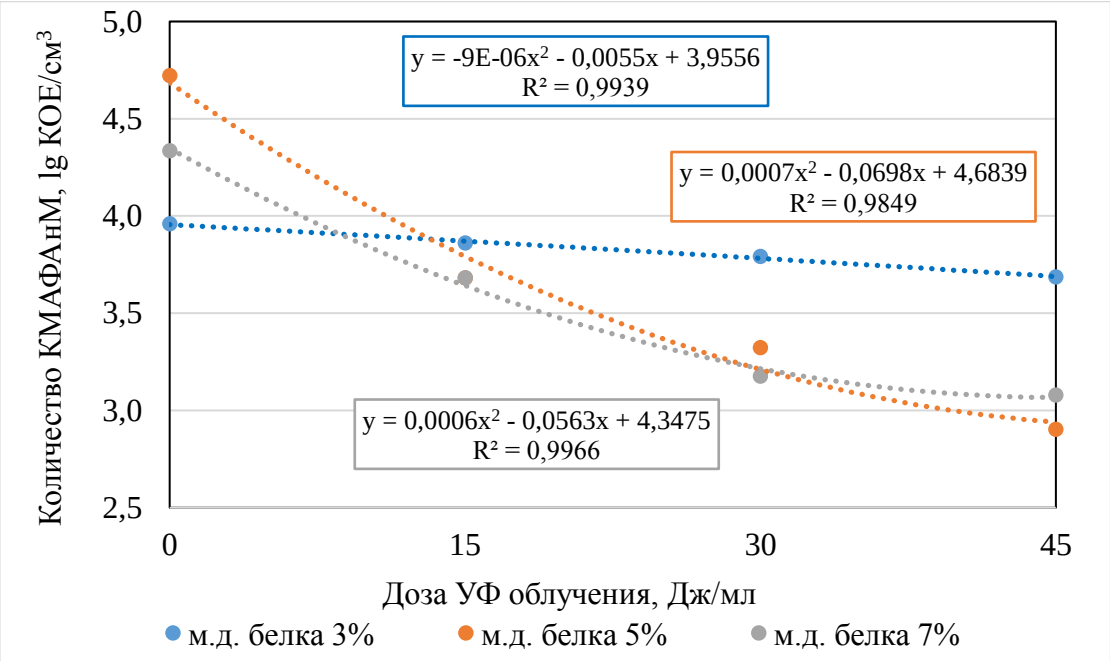



Рисунок 3.12 – Зависимость содержания КМАФАнМ в растворах КСБ от дозы УФ облучения

Анализ полученных данных показал снижение КМАФАнМ в растворах КСБ с возрастанием дозы УФ облучения. Наиболее выраженный эффект был достигнут

в растворе КСБ с м.д. белка 5% с $5{,}26 \cdot 10^4$ КОЕ/см$^3$ в необработанном растворе до $8 \cdot 10^2$ КОЕ/см$^3$ в растворе КСБ, подвергнутого дозе УФ облучению 45 Дж/мл. В растворе КСБ с м.д. белка 7,0% зафиксировано снижение КМАФАнМ с $2{,}16 \cdot 10^4$ КОЕ/см$^3$ в необработанном растворе до $3 \cdot 10^3$ КОЕ/см$^3$ в растворе с максимально исследуемой дозой облучения. При этом в растворе КСБ с м.д. белка 3,0% снижение КМАФАнМ происходило незначительно с $9{,}1 \cdot 10^3$ КОЕ/см$^3$ до $4{,}85 \cdot 10^3$ КОЕ/см$^3$.

Как видно из рисунка 3.13, растворимость белков при дозах УФ облучения 15 и 30 Дж/мл повышалась, вероятно, вследствие частичной денатурации белков и образования небольших фракций растворимых агрегатов. Затем при 45 Дж/мл растворимость белка снижалась, вероятно, вследствие начала процесса образования белковых агрегатов. Сравнивая полученные данные с предыдущими результатами исследований (рис. 3.1), можно заключить, что, начиная с дозы УФ облучения 45 Дж/мл растворимость белка растворов КСБ снижается. При этом наибольшее воздействие УФ облучение оказало на раствор КСБ с наименьшим содержанием сухих веществ (м.д. белка 3%).

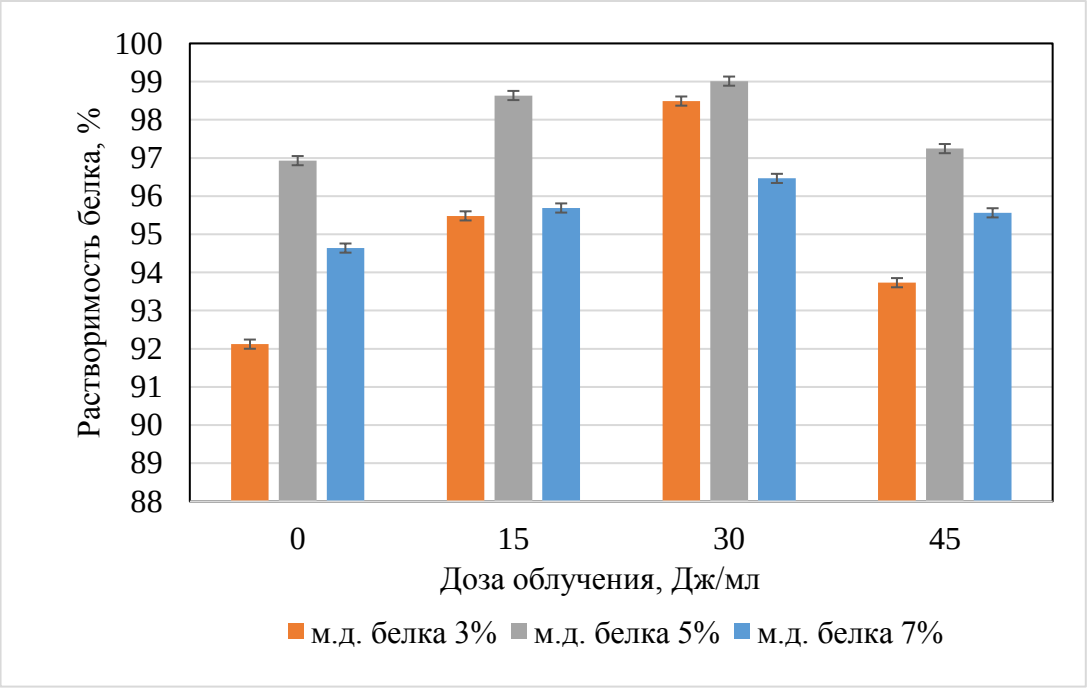



Рисунок 3.13 – Профиль растворимости исследуемых образцов

При оценке содержания β-лактоглобулина (рис. 3.14) в отличие от предыдущих результатов исследований (рис. 3.3) после первой дозы УФ облучения 15 Дж/мл содержания β-лактоглобулина снизилось, но практически не менялось в исследуемом диапазоне (15 – 45 Дж/мл).

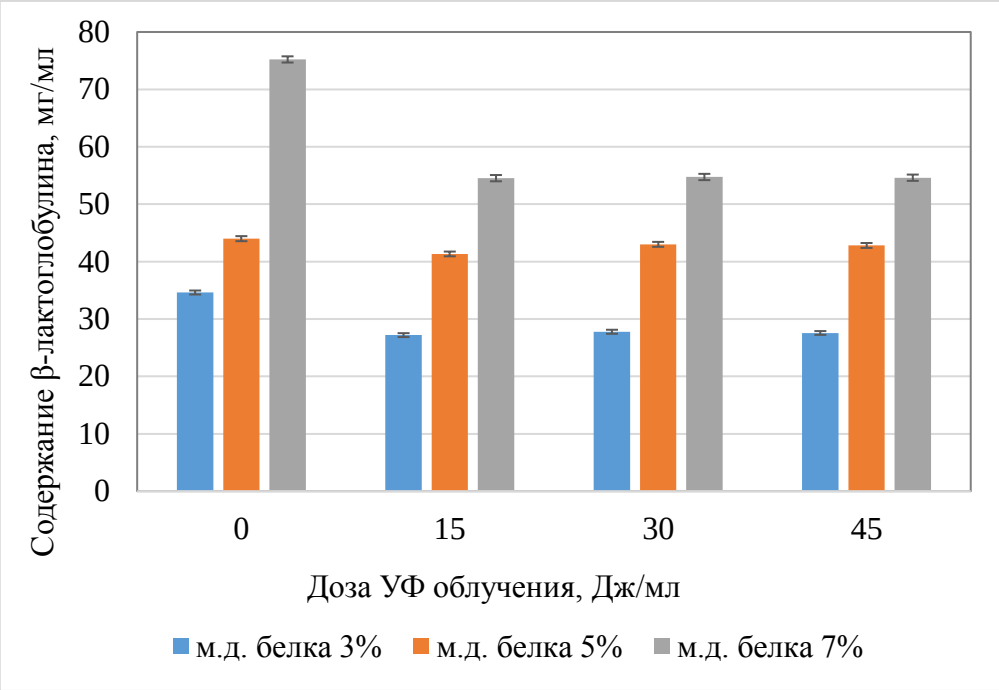



Рисунок 3.14 – Зависимость содержания β-лактоглобулина от дозы УФ облучения

Для растворов КСБ с м.д. белка 3, 5 и 7% содержание β-лактоглобулина до и после облучения (15 – 45 Дж/мл) составило 34,62±1; 43,99±1; 75,22±1 мг/мл и 27,51±0,3; 42,38±0,91; 54,63±0,1 мг/мл соответственно.

Оценка поверхностного натяжения исследуемых растворов КСБ (рис. 3.15) показала наиболее выраженное последовательное снижение данного показателя с увеличением дозы УФ облучения для образцов с м.д. белка 3 и 5%, что указывает на повышение поверхностно-активных свойств растворенных веществ, а именно, модифицированных сывороточных белков. Снижение поверхностного натяжения можно объяснить разворачиванием белковых молекул в результате УФ облучения и, как следствие, высвобождением гидрофильных центров, адсорбции и ориентации белковых молекул на поверхности раздела фаз. Средние значения поверхностного натяжения для данных образцов до и после УФ облучения (45 Дж/мл) составляли 56,57; 54,74 мН/м и 32,87; 39,27 мН/м соответственно.

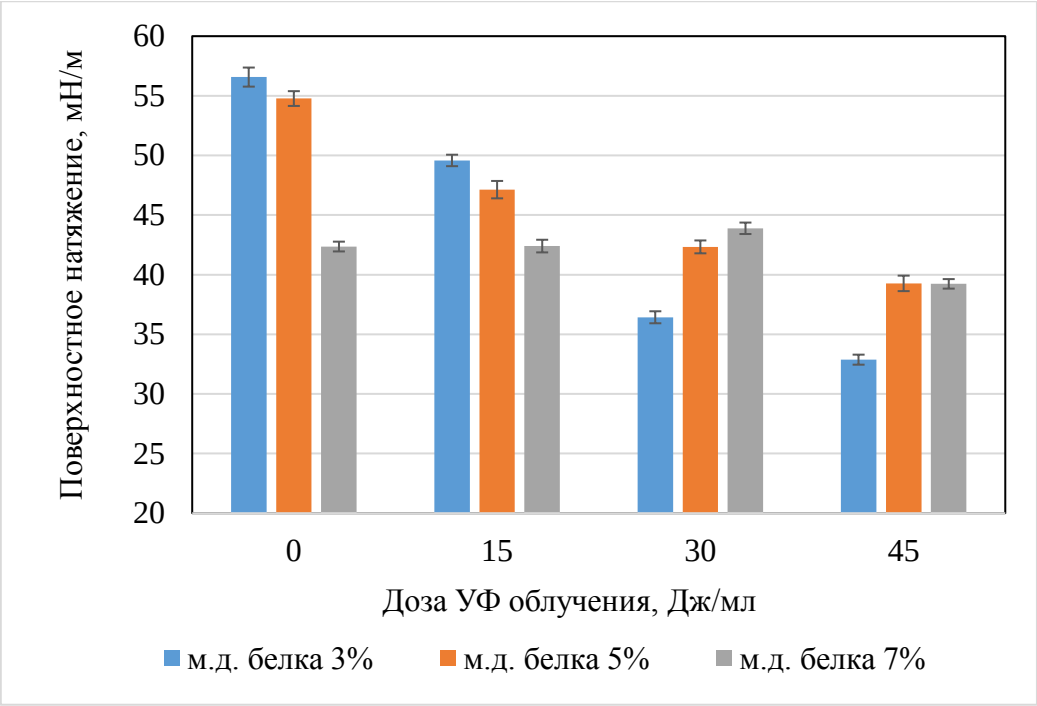



Рисунок 3.15 – Зависимость поверхностного натяжения от дозы УФ облучения

Для растворов КСБ с м.д. белка 7% показатели поверхностного натяжения практически не менялись. Средние значения поверхностного натяжения для данных образцов до и после УФ облучения (45 Дж/мл) составляли 42,36 мН/м и 39,23 мН/м соответственно.

С целью установления структурных изменений в исследуемых образцах растворов КСБ оценивали содержание свободных SH-групп (рис. 3.16), возрастание которых указывает на начало процесса развёртывания и, предположительно, полимеризацию в результате ковалентного сшивания белковых молекул. Анализ полученных данных показал последовательное увеличение содержания свободных SH-групп с 10±0,56 мкм SH/г белка в необработанных растворах КСБ до 31±0,92; 36±1,24 и 29±1,12 мкм SH/г белка (доза УФ облучения 45 Дж/мл) в растворах КСБ с м.д. белка 3,0; 5,0 и 7,0% соответственно.

Обобщая полученные результаты исследований, можно сделать следующие выводы. С повышением дозы УФ облучения растворов КСБ сывороточные белки начинают денатурировать и агрегировать. Об этом свидетельствует снижение растворимости белка при 45 Дж/мл (рис. 3.13) и содержания β-лактоглобулина (рис. 3.14), снижение поверхностного натяжения растворов КСБ (рис. 3.15), а также

возрастание свободных SH-групп (рис. 3.16). С точки зрения микробиологической безопасности, исследование воздействия УФ обработки на КМАФАнМ показало снижение данного параметра на порядок в растворах КСБ с м.д. белка 5,0 и 7,0%.

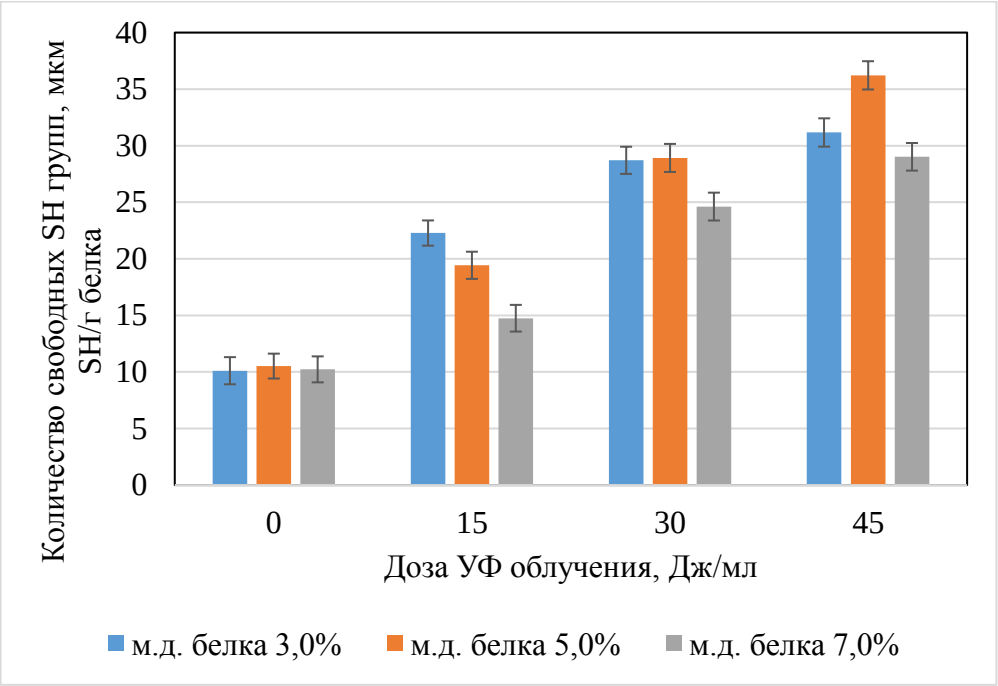



Рисунок 3.16 – Изменение содержания свободных SH групп в результате УФ обработки

Таким образом, полученные результаты исследований косвенно доказывают инициирование процесса полимеризации сывороточных белков в результате УФ облучения. На следующем этапе были проведены исследования по установлению влияния полимеризованных в результате УФ облучения сывороточных белков на влагоудерживающую способность и динамическую вязкость сквашенных растворов сывороточных белков.

### 3.4. Оценка влияния УФ обработки на технологические свойства сквашенных модельных систем

На данном этапе исследований в сравнении с предыдущими результатами необходимо было установить принципиальную возможность применения УФ обработки растворов КСБ для улучшения консистенции ферментированных сывороточных продуктов. Для обеспечения жизнедеятельности заквасочной культуры при восстановлении исследуемых растворов КСБ до содержания белка

3,0; 5,0 и 7,0% (таблица 3.5) регулировали массовую долю лактозы (2,0%). Полученные смеси сквашивали при 37 ºС до значения активной кислотности 4,7 ед. pH производственной бактериальной закваской АТС (ТУ 9229-369-00419785-04). В процессе охлаждения в контрольном образце 13, не подвергнутом УФ облучению, было визуально зафиксировано осаждение компонентов системы. В контрольных образцах 17, 21 сгусток не образовался. Визуально формирование сгустка начиналось с дозы УФ облучения 30 Дж/мл.

В полученных сквашенных образцах оценивали степень синерезиса, влагоудерживающую способность и динамическую вязкость. Данные представлены в таблице 3.6, рисунках 3.15 и 3.16.

Таблица 3.6 – Значения степени синерезиса МС сквашенных образцов КСБ

| **№ сквашенного образца** | **Продолжительность кислотообразования, мин** | **Степень синерезиса, %** |
|---|---|---|
| Контроль 17 | 180 ± 4 | - |
| 18 | 180 ± 4 | 8,0 ± 0,5 |
| 19 | 200 ± 4 | 6,0± 0,5 |
| 20 | 210 ± 4 | 0,0 |
| Контроль 21 | 190 ± 4 | - |
| 22 | 190 ± 4 | 4,0± 0,5 |
| 23 | 220 ± 4 | 0,0 |
| 24 | 260 ± 4 | 0,0 |
| Контроль 25 | 200 ± 4 | - |
| 26 | 200 ± 4 | 4,0± 0,5 |
| 27 | 250 ± 4 | 0,0 |
| 28 | 280 ± 4 | 0,0 |

Анализ полученных данных показал, что с возрастанием дозы УФ облучения последовательно снижалась степень синерезиса (таблица 3.6) и повышались значения ВУС (рис. 3.17).

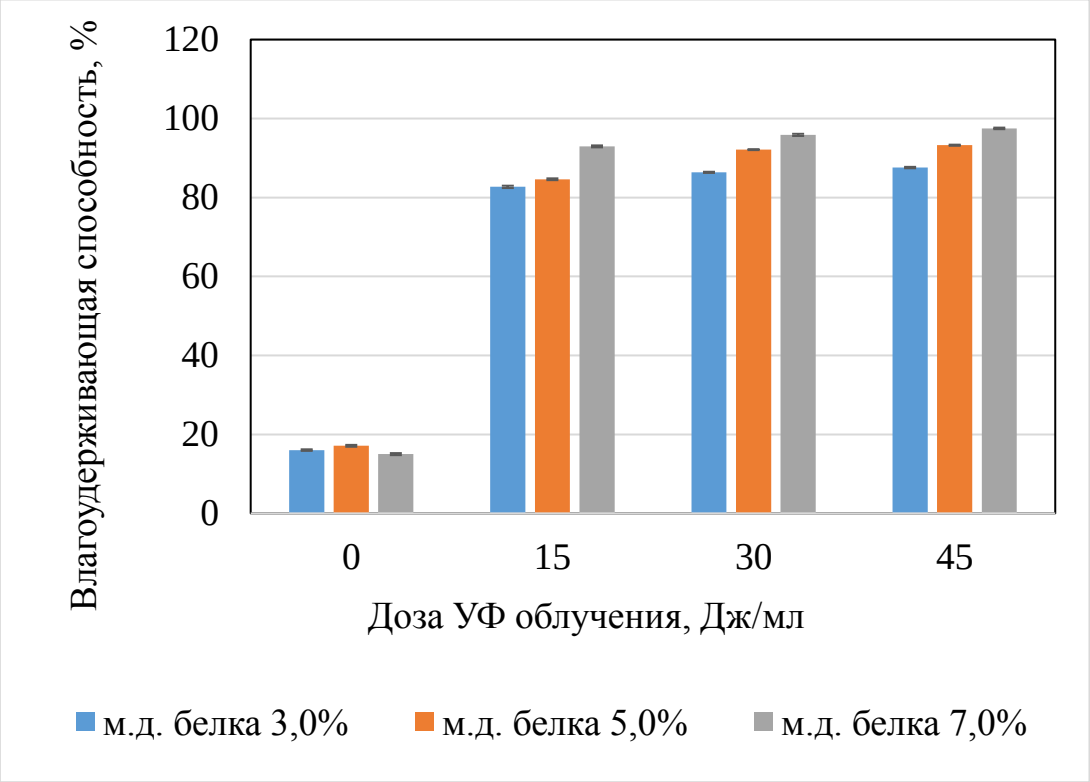



Рисунок 3.17 – Показатели ВУС модельных систем сквашенных сывороточных продуктов

Полное отсутствие синерезиса было зафиксировано в образцах 16, 19, 20, 23 и 24, подвергнутых дозе УФ облучения 30 и 45 Дж/мл (табл. 3.6). Показатели ВУС возрастали как с увеличением дозы УФ облучения, так и м.д. белка (рис. 3.17).

Динамическую вязкость оценивали в образцах со сформированным сгустком, подвергнутых дозе облучения 30 и 45,0 Дж/мл (рис. 3.18).

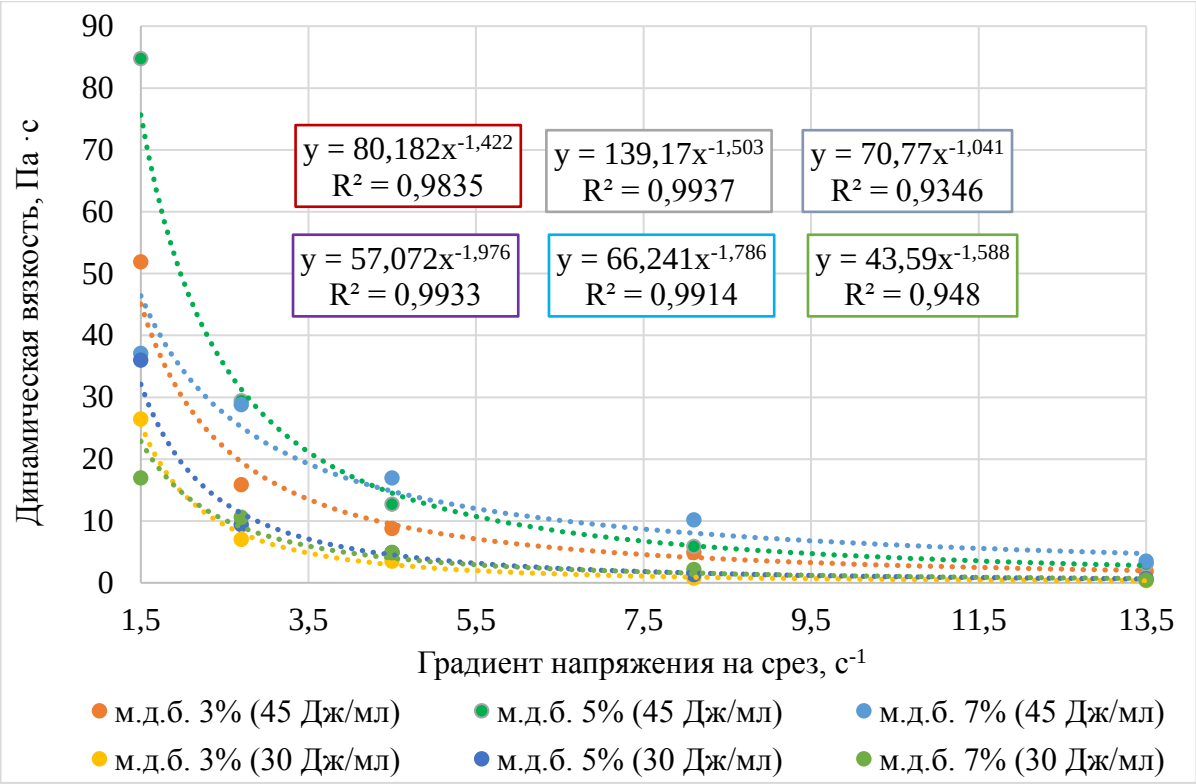



Рисунок 3.18 – Структурно-механические характеристики МС сквашенных образцов КСБ

Вязкость исследуемых образцов оценивали в диапазоне скоростей деформации (1,5 – 13,5) $с^{-1}$. Анализ полученных данных показал, что наибольшие значения вязкости соответствовали образцам 16, 20, 24, подвергнутым дозе УФ облучения 45 Дж/мл. При этом наилучшими показателями вязкости при данной дозе облучения характеризовался образец 20 с м.д. белка 5%.

Таким образом, по результатам проведенного комплекса исследований можно заключить, что УФ обработка значительно влияет на исследуемые свойства сквашенных растворов сывороточных белков. Установлены зависимости повышения влагоудерживающей способности и снижения степени синерезиса от дозы УФ облучения растворов КСБ. Определена зависимость вязкостных характеристик сквашенных растворов КСБ от дозы УФ облучения. При этом наибольшими показателями вязкости обладал раствор КСБ с м.д. белка 5%, подвергнутый УФ обработке в дозе 45 Дж/мл.

Органолептическая оценка данных образцов представлена на рисунке 3.19.

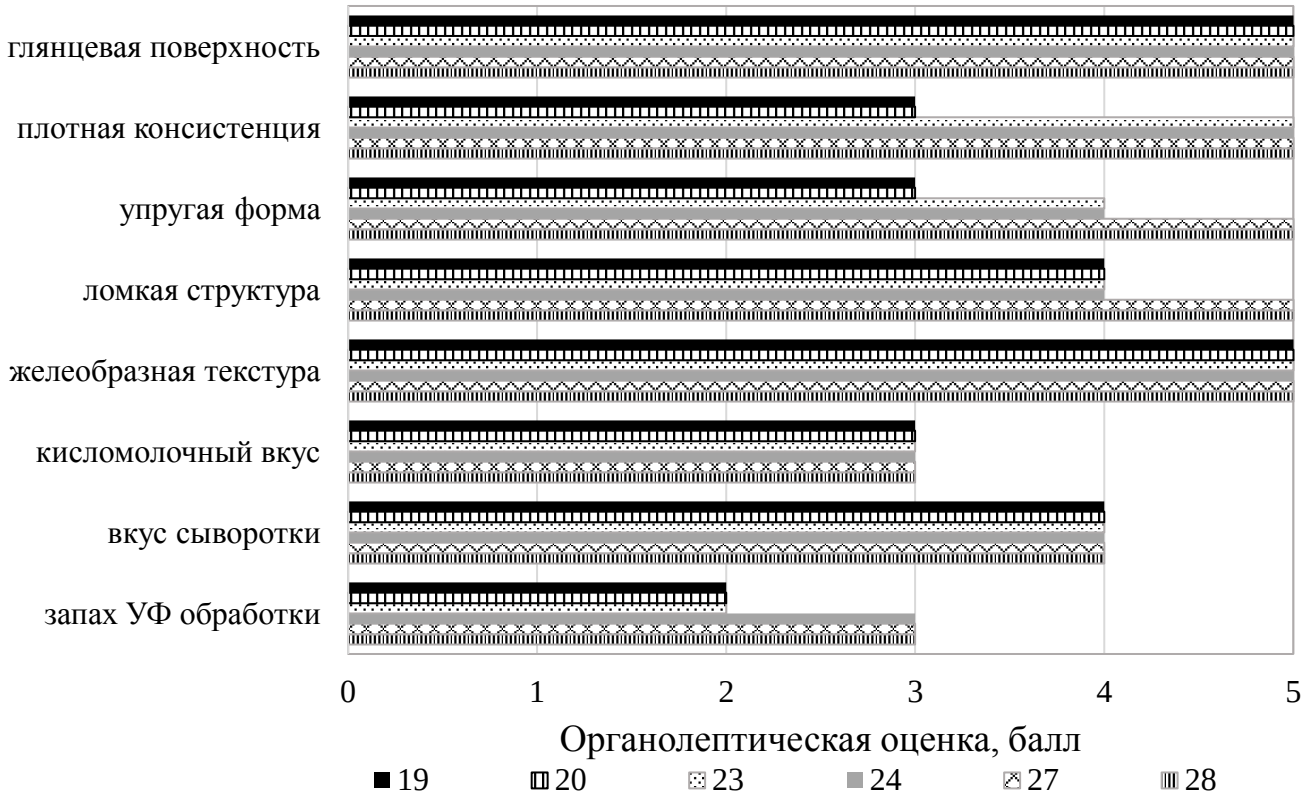



Рисунок 3.19 – Органолептическая оценка образцов сквашенных растворов КСБ, подвергнутых дозе УФ облучения 30 и 45 Дж/мл

Все тестируемые образцы обладали однородной, желеобразной консистенцией, глянцевой поверхностью, светло-бежевого цвета. В данных образцах вкус сыворотки граничил наряду с кисломолочным вкусом и запахом. Плотность, упругость формы, а также ломкость возрастали как с дозой УФ облучения, так и м.д. белка. Интенсивность запаха УФ обработки была слабо выражена и проявлялась незначительным окисленным запахом при дозе УФ облучения 45 Дж/мл.

На следующем этапе исследований для установления влияния модифицированных УФ облучением сывороточных белков на технологические и структурно-механические показатели разрабатываемого кисломолочного продукта необходимо было провести оптимизацию ультрафиолетовой обработки раствора КСБ.

## 3.5. Оптимизация ультрафиолетовой обработки раствора КСБ для его применения в технологии кисломолочного продукта

На данном этапе исследований необходимо было оптимизировать УФ обработку раствора КСБ для его применения в технологии кисломолочного продукта с целью улучшения структурно-механических характеристик и влагоудерживающей способности. Алгоритм проведения эксперимента разрабатывали по методике трехфакторного эксперимента. Изменяемыми параметрами являлись доза облучения раствора КСБ, доза внесения раствора КСБ и массовая доля белка раствора КСБ. Каждый из параметров варьировали на трех уровнях (таблица 3.7). В качестве контролируемых параметров исследовались ВУС, предельное напряжения сдвига, количество молочнокислых микроорганизмов, степень тиксотропности (СТ) и коэффициент механической стабильности (КМС).

Полученные результаты трехфакторных экспериментов были подвергнуты статистической обработке с использованием блока DOE программы пакета программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., 2011, США).

Таблица 3.7 – Уровни вариации независимых параметров в трехфакторных экспериментах по оптимизации УФ обработки раствора КСБ

| Параметр | Переменная | Уровень варьирования | | |
|---|---|---|---|---|
| | | -1 | 0 | 1 |
| Массовая доля белка раствора КСБ, % | $X_1$ | 3,0 | 5,0 | 7,0 |
| Доза облучения раствора КСБ, Дж/мл | $X_2$ | 15 | 30 | 45 |
| Доза внесения раствора КСБ, % | $X_3$ | 20 | 40 | 60 |

Композиционная матрица плана трехфакторного эксперимента представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Композиционный план трехфакторного эксперимента по оптимизации УФ обработки раствора КСБ

| № образца | Вариабельные факторы | | |
|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
| 1 | 3,0 | 15,0 | 20,0 |
| 2 | 3,0 | 15,0 | 60,0 |
| 3 | 3,0 | 45,0 | 20,0 |
| 4 | 3,0 | 45,0 | 60,0 |
| 5 | 7,0 | 15,0 | 20,0 |
| 6 | 7,0 | 15,0 | 60,0 |
| 7 | 7,0 | 45,0 | 20,0 |
| 8 | 7,0 | 45,0 | 60,0 |
| 9 | 3,0 | 30,0 | 40,0 |
| 10 | 7,0 | 30,0 | 40,0 |
| 11 | 5,0 | 15,0 | 40,0 |
| 12 | 5,0 | 45,0 | 40,0 |
| 13 | 5,0 | 30,0 | 20,0 |
| 14 | 5,0 | 30,0 | 60,0 |
| 15 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 16 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 17 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 18 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 19 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 20 | 3,0 | 15,0 | 20,0 |
| 21 | 3,0 | 15,0 | 60,0 |
| 22 | 3,0 | 45,0 | 20,0 |
| 23 | 3,0 | 45,0 | 60,0 |
| 24 | 7,0 | 15,0 | 20,0 |
| 25 | 7,0 | 15,0 | 60,0 |
| 26 | 7,0 | 45,0 | 20,0 |
| 27 | 7,0 | 45,0 | 60,0 |
| 28 | 3,0 | 30,0 | 40,0 |
| 29 | 7,0 | 30,0 | 40,0 |
| 30 | 5,0 | 15,0 | 40,0 |
| 31 | 5,0 | 45,0 | 40,0 |
| 32 | 5,0 | 30,0 | 20,0 |
| 33 | 5,0 | 30,0 | 60,0 |
| 34 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 35 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 36 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 37 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |
| 38 (Н) | 5,0 | 30,0 | 40,0 |

При варьировании УФ обработки раствора КСБ показано возрастание ВУС при увеличении дозы УФ облучения и м.д. белка. Показано возрастание степени тиксотропности при увеличении дозы УФ облучения. В то же время степень

тиксотропности снижается с повышением м.д. белка при дозе УФ излучения 15 и 30 Дж/мл. При дозе УФ облучения 45 Дж/мл степень тиксотропности резко повышается. Показано снижение предельного напряжения сдвига, количества молочнокислых микроорганизмов при увеличении дозы внесения раствора КСБ и м.д. белка. С возрастанием дозы внесения раствора КСБ коэффициент механической стабильности повышается, однако с увеличением м.д. белка – снижается (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Результаты трехфакторных экспериментов по оптимизации УФ обработки раствора КСБ

| **№ образца** | **ВУС, %** | **ПНС, Па** | **Количество молочнокислых мо, lg КОЕ/см$^3$** | **СТ, %** | **КМС** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 97,12 | 2160,03 | 8,398 | 78 | 4,00 |
| 2 | 96,08 | 3133,12 | 8,398 | 20 | 14,00 |
| 3 | 93,80 | 1734,06 | 8,845 | 84 | 3,00 |
| 4 | 97,34 | 1782,50 | 8,398 | 62 | 1,14 |
| 5 | 97,93 | 2074,86 | 9,041 | 46 | 5,00 |
| 6 | 99,65 | 2145,60 | 7,398 | 82 | 0,89 |
| 7 | 97,94 | 1683,68 | 7,398 | 65 | 2,00 |
| 8 | 97,35 | 1820,12 | 8,398 | 74 | 1,02 |
| 9 | 89,98 | 1818,77 | 8,398 | 41 | 7,00 |
| 10 | 97,96 | 1874,78 | 7,778 | 85 | 0,50 |
| 11 | 97,99 | 2499,69 | 8,398 | 32 | 15,00 |
| 12 | 98,55 | 2185,11 | 8,398 | 72 | 1,00 |
| 13 | 96,06 | 2077,52 | 8,398 | 67 | 4,00 |
| 14 | 98,88 | 1871,77 | 7,699 | 106 | 0,32 |
| 15 (Н) | 98,16 | 1821,11 | 8,398 | 56 | 2,00 |
| 16 (Н) | 98,24 | 1702,08 | 8,398 | 61 | 2,00 |
| 17 (Н) | 97,87 | 1768,91 | 8,398 | 56 | 2,25 |
| 18 (Н) | 97,89 | 1844,43 | 8,398 | 57 | 2,00 |
| 19 (Н) | 98,10 | 1726,36 | 8,398 | 57 | 1,75 |
| 20 | 97,36 | 2172,51 | 8,398 | 74 | 4,00 |

Продолжение таблицы 3.9.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 97,21 | 3191,10 | 8,041 | 23 | 15,00 |
| 22 | 94,44 | 1728,47 | 8,845 | 89 | 2,00 |
| 23 | 97,50 | 1752,08 | 8,845 | 58 | 1,17 |
| 24 | 97,96 | 2128,47 | 9,041 | 45 | 6,00 |
| 25 | 99,65 | 2411,24 | 7,398 | 86 | 0,86 |
| 26 | 98,16 | 1696,29 | 7,398 | 68 | 2,00 |
| 27 | 97,24 | 1806,35 | 8,398 | 78 | 1,03 |
| 28 | 93,83 | 1926,91 | 8,398 | 41 | 10,00 |
| 29 | 98,84 | 1909,44 | 7,778 | 77 | 0,47 |
| 30 | 97,99 | 2532,97 | 8,845 | 28 | 15,50 |
| 31 | 98,32 | 2153,82 | 8,041 | 72 | 1,00 |
| 32 | 97,41 | 1727,87 | 8,398 | 62 | 4,00 |
| 33 | 99,01 | 1888,94 | 7,699 | 104 | 0,31 |
| 34 (Н) | 97,91 | 1814,94 | 8,398 | 57 | 2,00 |
| 35 (Н) | 98,65 | 1852,30 | 8,398 | 57 | 2,25 |
| 36 (Н) | 97,97 | 1835,70 | 8,398 | 57 | 2,00 |
| 37 (Н) | 98,14 | 1693,30 | 8,398 | 57 | 2,00 |
| 38 (Н) | 98,21 | 1713,15 | 8,398 | 59 | 2,30 |

Результаты статистической оценки эффектов вариабельных факторов на влагоудерживающую способность приведены в таблице 3.10. Как видно из данных таблицы 3.10 среди исследуемых вариабельных факторов значимое ($p<0,05$) влияние на ВУС кисломолочного продукта оказывают линейный и квадратичный факторы м.д. белка, а также линейный фактор дозы внесения раствора КСБ.

Линейные факторы м.д. белка и дозы внесения раствора КСБ обладают положительным эффектом на ВУС. Квадратичный фактор м.д. белка оказывает отрицательное действие (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Эффекты вариабельных факторов на ВУС кисломолочного продукта

| Фактор | Эффект. | Ст. откл. | t(28) | p | -95,% | +95,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Сред/Св.член | 97,73155 | 0,328541 | 297,4714 | 0,000000 | 97,05856 | 98,40453 |
| (1)Доза общего белка раствора КСБ, %(L) | 2,80200 | 0,567589 | 4,9367 | 0,000033 | 1,63935 | 3,96465 |
| Доза общего белка раствора КСБ, %(К) | -4,20196 | 1,085831 | -3,8698 | 0,000595 | -6,42618 | -1,97774 |
| (2)Доза облучения, Дж/мл(L) | -0,83000 | 0,567589 | -1,4623 | 0,154786 | -1,99265 | 0,33265 |
| Доза облучения, Дж/мл(К) | 1,91804 | 1,085831 | 1,7664 | 0,088226 | -0,30618 | 4,14226 |
| (3)Доза внесения раствора КСБ, %(L) | 1,17300 | 0,567589 | 2,0666 | 0,048128 | 0,01035 | 2,33565 |
| Доза внесения раствора КСБ, %(К) | 1,17304 | 1,085831 | 1,0803 | 0,289219 | -1,05118 | 3,39726 |
| 1L на 2L | 0,02375 | 0,634584 | 0,0374 | 0,970411 | -1,27614 | 1,32364 |
| 1L на 3L | -0,43875 | 0,634584 | -0,6914 | 0,495008 | -1,73864 | 0,86114 |
| 2L на 3L | 0,35875 | 0,634584 | 0,5653 | 0,576351 | -0,94114 | 1,65864 |

Данные по ВУС при трехфакторном эксперименте по оптимизации УФ обработки раствора КСБ были подвергнуты регрессионному анализу. После удаления членов со статистически незначимыми регрессионными коэффициентами было получено уравнение 3.1, описывающее зависимость ВУС от вариабельных факторов.

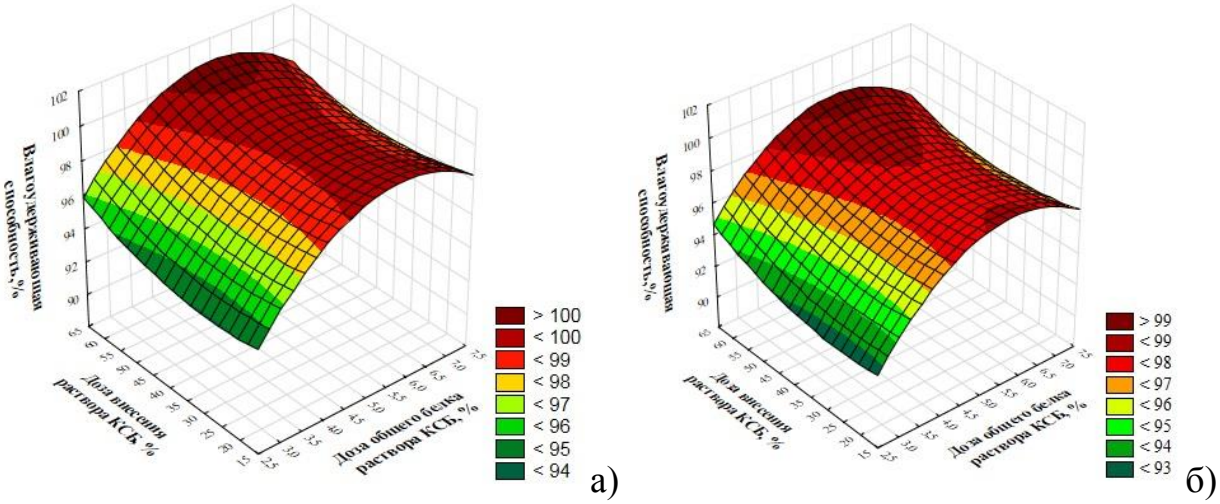
$$Y=86,6171+6,1604*X_1–0,5252*X_1^2 – 0,3093*X_2+0,0043*X_2^2 – 0,0785*X_3+0,0015* X_3^2+0,0004*X_1*X_2 – 0,0055*X_1*X_3 + 0,0006*X_2*X_3; \quad (3.1)$$

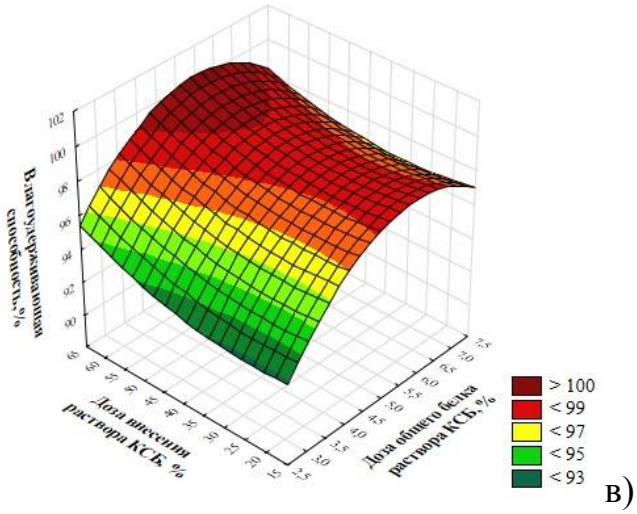
$R^2=0,6253$

Статистически значимы ($p<0,05$) коэффициенты при таких членах, как м.д. белка линейного и квадратичного характеров (уравнение 3.1). Наличие

отрицательного коэффициента при квадратичном факторе м.д. белка свидетельствует о наличии локального максимума.

Графическая иллюстрация зависимости ВУС от вариабельных параметров УФ обработки раствора КСБ представлена на рисунке 3.20, где отчетливо видно наличие локального максимума. Как видно из представленных зависимостей, с возрастанием дозы общего белка раствора КСБ до 5,5% (рис. 3.20 а, б) и 6,0% (рис. 3,20 в) показатели ВУС последовательно возрастают, затем с дальнейшим увеличением доли белка в системе начинают снижаться.




| |
|---|
| а=86,62+6,162*x-0,53*$x^2$-0,08*y+,001*$y^2$+ 0,06*x-0,005*x*y+0,009*y-3,68 |
| б=81,18+6,16*x-0,53*$x^2$- 0,08*y+0,01*$y^2$+0,13*x-0,01*x*y+0,02*y |
| в=81,33+6,16*x-0,53*$x^2$-0,08*y+0,0015*$y^2$+ 0,018*x-0,005*x*y+0,03*y |

Рисунок 3.20 – Зависимость влагоудерживающей способности кисломолочных продуктов от вариабельных параметров при дозе УФ облучения: а) 15 Дж/мл, б) 30 Дж/мл, в) 45 Дж/мл

Это можно объяснить формированием излишне плотной и гелеобразной структуры исследуемых кисломолочных сгустков, при деформации которых под действием центробежной силы происходит лучшее отделение влаги.

Согласно профилю предсказанных значений и функции желательности (рис. 3.21) для достижения оптимального значения ВУС в рецептуре кисломолочного продукта доза внесения раствора КСБ должна составлять 60% при м.д. белка 6%, подвергнутого дозе облучения 45 Дж/мл.

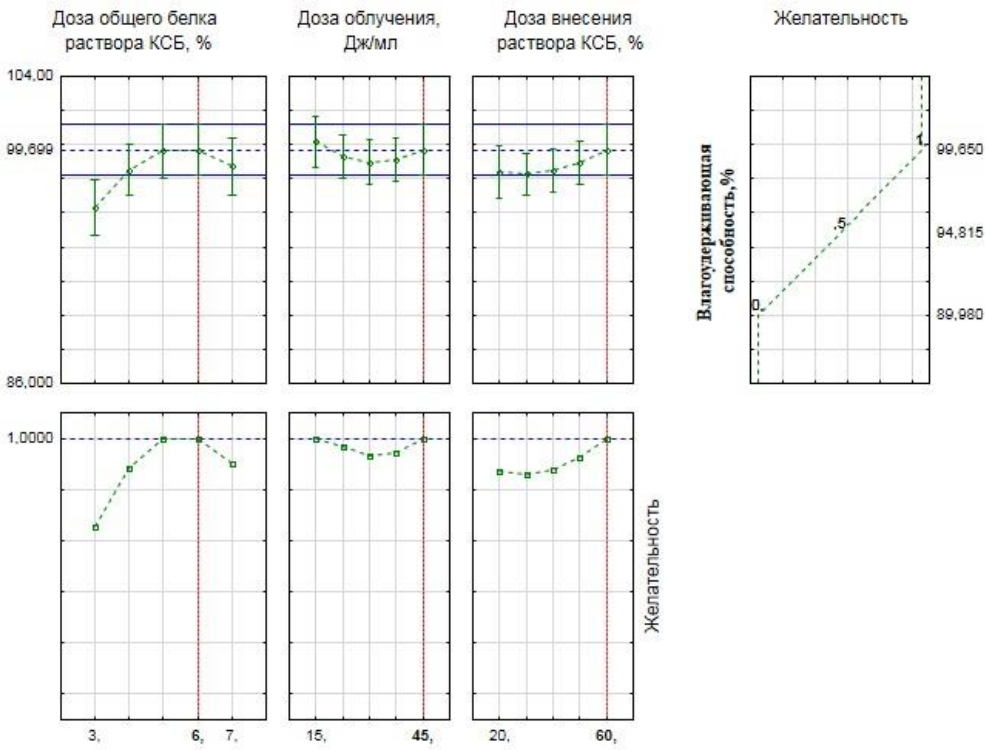



Рисунок 3.21 – Профили предсказанных значений и функции желательности вариабельных параметров для влагоудерживающей способности

Результаты статистической оценки эффектов вариабельных факторов на предельное напряжение сдвига приведены в таблице 3.11. Как видно из данных таблицы 3.11 все исследуемые вариабельные факторы оказывают значимое ($p<0,05$) влияние на предельное напряжение сдвига кисломолочных продуктов. Наиболее выраженное влияние на величину ПНС оказывают доза УФ облучения и доза внесения раствора КСБ.

Таблица 3.11 – Эффекты вариабельных факторов на предельное напряжение сдвига кисломолочного продукта

| Фактор | Эффект | Ст. откл. | t(28) | p | -95,% | +95,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Сред/Св.член | 1855,358 | 43,0601 | 43,08761 | 0,000000 | 1767,153 | 1943,562 |
| (1)Доза общего белка раствора КСБ, %(L) | -184,872 | 74,3908 | -2,48514 | 0,019194 | -337,255 | -32,489 |
| Доза общего белка раствора КСБ, %(K) | -141,090 | 142,3140 | -0,99140 | 0,329982 | -432,607 | 150,427 |
| (2)Доза облучения, Дж/мл(L) | -610,711 | 74,3908 | -8,20949 | 0,000000 | -763,094 | -458,328 |
| Доза облучения, Дж/мл(K) | 779,755 | 142,3140 | 5,47912 | 0,000007 | 488,238 | 1071,272 |
| (3)Доза внесения раствора КСБ, %(L) | 261,906 | 74,3908 | 3,52068 | 0,001494 | 109,523 | 414,289 |
| Доза внесения раствора КСБ, %(K) | -122,990 | 142,3140 | -0,86421 | 0,394814 | -414,507 | 168,527 |
| 1L на 2L | 238,240 | 83,1715 | 2,86444 | 0,007833 | 67,871 | 408,609 |
| 1L на 3L | -182,965 | 83,1715 | -2,19985 | 0,036237 | -353,334 | -12,596 |
| 2L на 3L | -253,330 | 83,1715 | -3,04588 | 0,005013 | -423,699 | -82,961 |

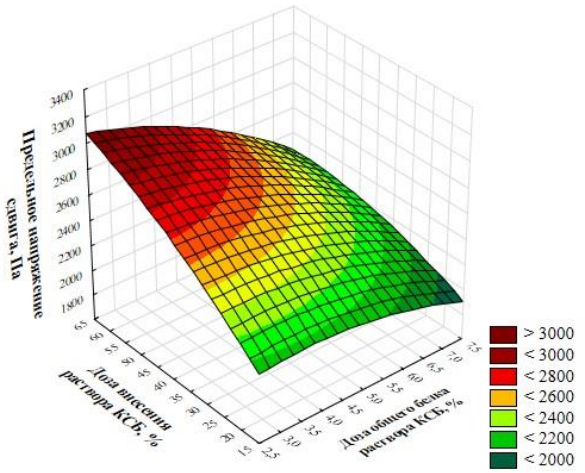
Линейный фактор дозы внесения раствора КСБ обладает положительным эффектом на ПНС. Фактор взаимодействия линейных факторов м.д. белка и дозы облучения также оказывает положительное действие. Линейные факторы м.д. белка раствора КСБ и дозы УФ облучения обладают отрицательным эффектом на ПНС. Факторы взаимодействия линейных факторов м.д. белка и дозы внесения, а также дозы УФ облучения и дозы внесения оказывают отрицательное действие на предельное напряжение сдвига.

Данные по значениям ПНС кисломолочных продуктов, полученных при трехфакторном эксперименте по оптимизации условий УФ обработки, были подвергнуты регрессионному анализу. Было получено уравнение регрессии 3.2, описывающее зависимость значений ПНС от вариабельных факторов:

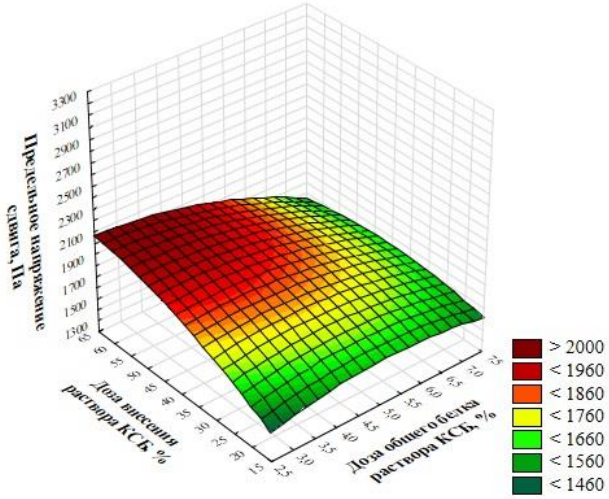
$$Y=2939,405+105,507*X_1-17,636*X_1^2-127,289*X_2+1,733*X_2^2+$$
$$42,948*X_3-0,154*X_3^2+3,97*X_1*X_2-2,287*X_1*X_3-0,422*X_2*X_3 \quad (3.2)$$
$$R^2=0,8378$$

Статистически значимы ($p<0,05$) коэффициенты при членах, отражающих взаимодействие между факторами м.д. белка и дозой УФ облучения, м.д. белка и дозой внесения, а также дозой УФ облучения и дозой внесения (уравнение 3.2).

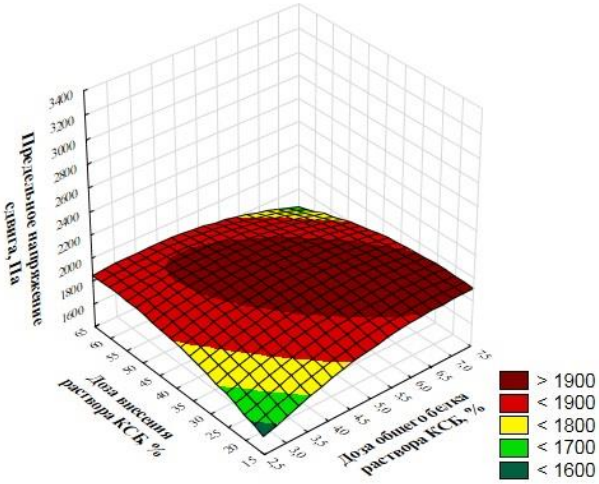
Поверхности отклика зависимости величины ПНС кисломолочных продуктов от вариабельных параметров представлены на рисунке 3.22. Анализ поверхностей отклика показал, что с увеличением дозы УФ облучения показатели ПНС снижаются. Это говорит о том, что на разрушение структуры продукта с повышением дозы УФ облучения затрачивается меньшее усилие ввиду возрастания ломкости кисломолочных сгустков.




а)




б)




в)

| |
|---|
| $a=1419,94+96,34*x–17,64*x^2+43,61*y–0,15*y^2+61,5*x–2,29*x*y–6,99*y$ |
| $z=680,24+96,34*x-17,64*x^2+43,61*y-0,15*y^2+123,3*x-2,29*x*y-13,2*y$ |
| $z=720,3+96,34*x-17,64*x^2+43,61*y-0,15*y^2+184,95*x-2,29*x*y-19,8*y$ |

Рисунок 3.22 – Зависимость предельного напряжения сдвига кисломолочных продуктов от вариабельных параметров при дозе УФ облучения: а) 15 Дж/мл, б) 30 Дж/мл, в) 45 Дж/мл

Согласно профилю предсказанных значений и функции желательности (рис. 3.23) для достижения оптимального значения ПНС в рецептуре кисломолочного продукта доза внесения раствора КСБ должна составлять 60% при м.д. белка 3%, подвергнутого дозе облучения 15 Дж/мл.

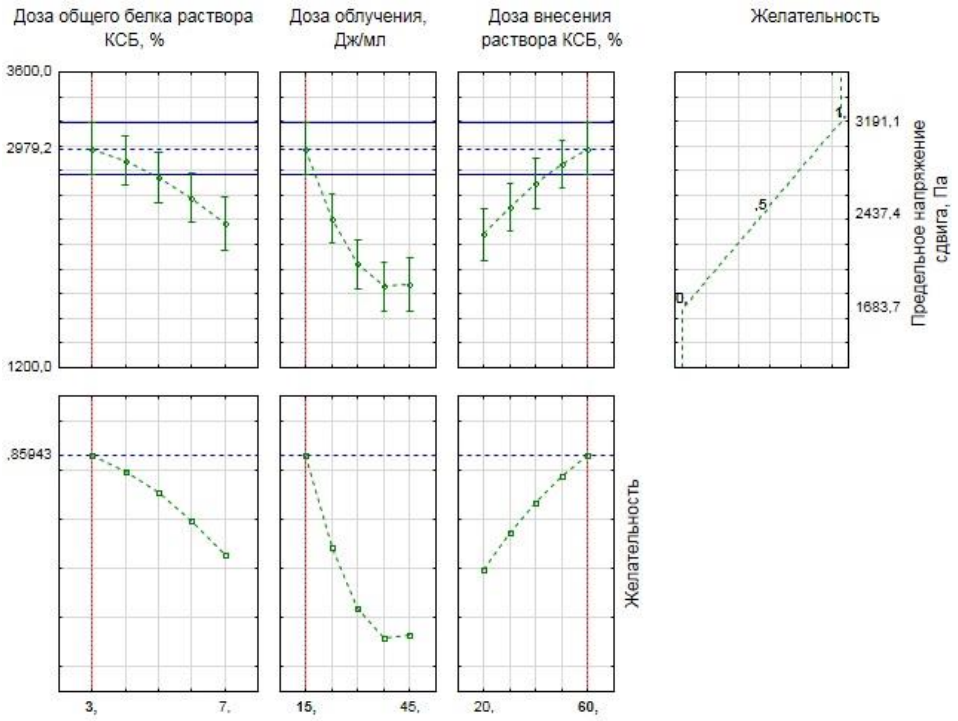



Рисунок 3.23 – Профили предсказанных значений и функции желательности вариабельных параметров для предельного напряжения сдвига

Результаты статистического анализа эффектов вариабельных параметров на количество молочнокислых микроорганизмов приведены в таблице 3.12.

Как видно из данных таблицы 3.12 наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на содержание молочнокислых микроорганизмов оказывают линейные факторы дозы белка и дозы внесения раствора КСБ.

Все из статистически значимых вариабельных факторов, помимо фактора взаимодействия линейных факторов дозы облучения и дозы внесения раствора КСБ, оказывают отрицательное влияние на величину молочнокислых микроорганизмов (таблица 3.12). Из этого следует, что увеличение дозы м.д. белка

и дозы внесения раствора КСБ будет приводить к снижению количества молочнокислых микроорганизмов.

Таблица 3.12 – Эффекты вариабельных факторов на количество молочнокислых микроорганизмов кисломолочного продукта

| Фактор | Эффект | Ст. откл. | t(28) | p | -95,% | +95,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Сред/Св.член | 8,310763 | 0,080415 | 103,3487 | 0,000000 | 8,146041 | 8,475485 |
| (1)Доза общего белка раствора КСБ, %(L) | -0,493800 | 0,138925 | -3,5544 | 0,001368 | -0,778375 | -0,209225 |
| Доза общего белка раствора КСБ, %(K) | -0,227433 | 0,265772 | -0,8557 | 0,399402 | -0,771841 | 0,316975 |
| (2)Доза облучения, Дж/мл(L) | -0,039200 | 0,138925 | -0,2822 | 0,779891 | -0,323775 | 0,245375 |
| Доза облучения, Дж/мл(K) | 0,437567 | 0,265772 | 1,6464 | 0,110861 | -0,106841 | 0,981975 |
| (3)Доза внесения раствора КСБ, %(L) | -0,348800 | 0,138925 | -2,5107 | 0,018100 | -0,633375 | -0,064225 |
| Доза внесения раствора КСБ, %(K) | -0,306433 | 0,265772 | -1,1530 | 0,258661 | -0,850841 | 0,237975 |
| 1L на 2L | -0,373000 | 0,155323 | -2,4015 | 0,023213 | -0,691164 | -0,054836 |
| 1L на 3L | -0,060250 | 0,155323 | -0,3879 | 0,701022 | -0,378414 | 0,257914 |
| 2L на 3L | 0,649500 | 0,155323 | 4,1816 | 0,000258 | 0,331336 | 0,967664 |

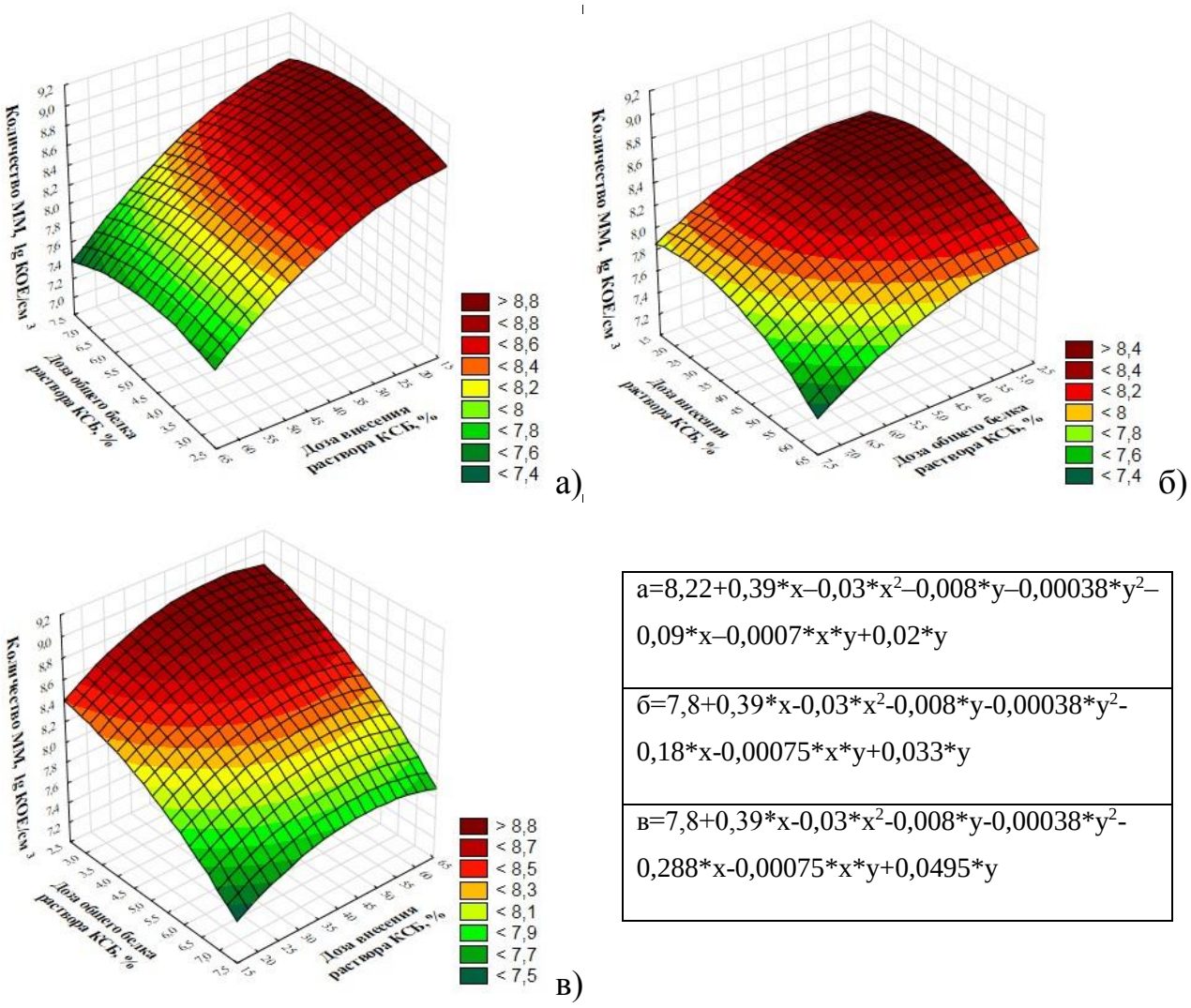
Данные по количественному содержанию молочнокислых микроорганизмов, полученных при трехфакторном эксперименте по оптимизации условий УФ обработки раствора КСБ, были подвергнуты регрессионному анализу. Было получено уравнение 3.3, описывающее зависимость содержания молочнокислых микроорганизмов от вариабельных факторов:

$$Y=9{,}0834+0{,}3774*X_1-0{,}0284*X_1^2-0{,}0718*X_2+0{,}0009*X_2^2-0{,}0068*X_3-0{,}0003*X_3^2-0{,}0062*X_1*X_2-0{,}0007*X_1*X_3+0{,}0011*X_2*X_3 \quad (3.3)$$

$R^2=0{,}6218$

Статистически значимы ($p<0{,}05$) коэффициенты при членах, отражающих взаимодействие между факторами м.д. белка и дозой УФ облучения, а также дозы УФ облучения и дозой внесения раствора КСБ (уравнение 3.3).

Поверхности отклика содержания молочнокислых микроорганизмов от вариабельных параметров представлены на рисунке 3.24.




| |
|---|
| $a=8,22+0,39*x–0,03*x^2–0,008*y–0,00038*y^2–0,09*x–0,0007*x*y+0,02*y$ |
| $б=7,8+0,39*x-0,03*x^2-0,008*y-0,00038*y^2-0,18*x-0,00075*x*y+0,033*y$ |
| $в=7,8+0,39*x-0,03*x^2-0,008*y-0,00038*y^2-0,288*x-0,00075*x*y+0,0495*y$ |

Рисунок 3.24 – Зависимость содержания молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных продуктах от вариабельных параметров при дозе УФ облучения: а) 15 Дж/мл, б) 30 Дж/мл, в) 45 Дж/мл

Согласно профилю предсказанных значений и функции желательности (рис. 3.25) для достижения максимального содержания молочнокислых микроорганизмов в кисломолочном продукте доза внесения раствора КСБ должна составлять 20% при м.д. белка 5%, подвергнутого дозе облучения 15 Дж/мл.

Результаты статистического анализа эффектов вариабельных параметров композиционного состава кисломолочного продукта на степень тиксотропности приведены в таблице 3.13.

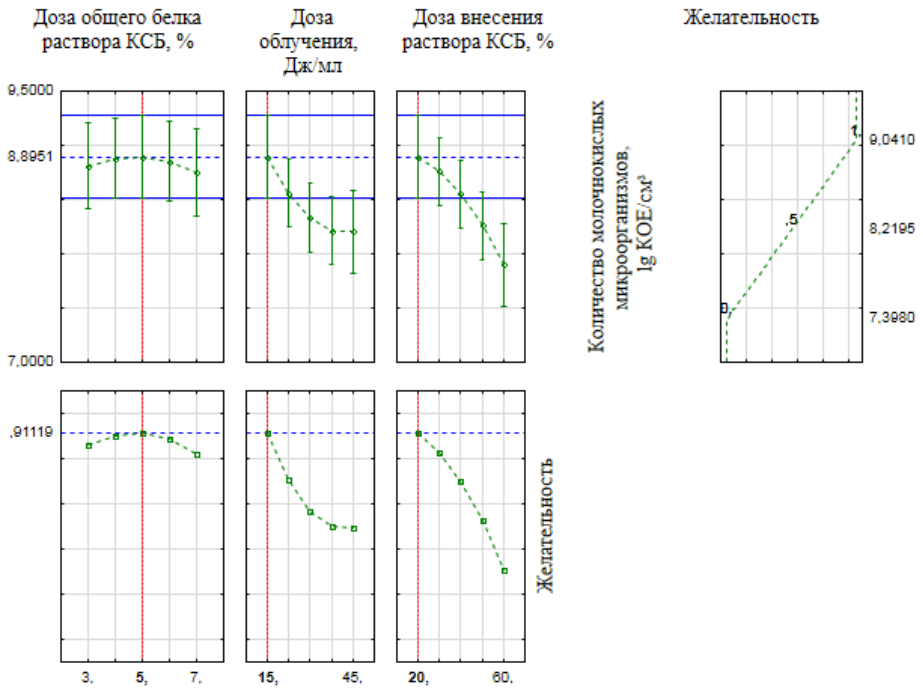



Рисунок 3.25 – Профили предсказанных значений и функции желательности вариабельных параметров для содержания молочнокислых микроорганизмов в кисломолочном продукте

Таблица 3.13 – Эффекты вариабельных факторов на степень тиксотропности кисломолочного продукта

| Фактор | Эффект | Ст. откл. | t(28) | p | -95,% | +95,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Сред/Св.член | 60,2784 | 3,29136 | 18,31414 | 0,000000 | 53,5363 | 67,02039 |
| (1)Доза общего белка раствора КСБ, %(L) | 13,6000 | 5,68616 | 2,39177 | 0,023725 | 1,9524 | 25,24757 |
| Доза общего белка раствора КСБ, %(K) | -5,7526 | 10,87796 | -0,52883 | 0,601092 | -28,0351 | 16,52990 |
| (2)Доза облучения, Дж/мл(L) | 20,8000 | 5,68616 | 3,65801 | 0,001043 | 9,1524 | 32,44757 |
| Доза облучения, Дж/мл(K) | -25,7526 | 10,87796 | -2,36741 | 0,025058 | -48,0351 | -3,47010 |
| (3)Доза внесения раствора КСБ, %(L) | 1,5000 | 5,68616 | 0,26380 | 0,793867 | -10,1476 | 13,14757 |
| Доза внесения раствора КСБ, %(K) | 41,7474 | 10,87796 | 3,83780 | 0,000648 | 19,4649 | 64,02990 |
| 1L на 2L | -9,0000 | 6,35732 | -1,41569 | 0,167894 | -22,0224 | 4,02238 |
| 1L на 3L | 32,2500 | 6,35732 | 5,07289 | 0,000023 | 19,2276 | 45,27238 |
| 2L на 3L | -0,2500 | 6,35732 | -0,03932 | 0,968911 | -13,2724 | 12,77238 |

Как видно из данных таблицы 3.13 наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на степень тиксотропности оказывают линейные факторы м.д. белка и дозы УФ облучения раствора КСБ, которые также обладают положительным эффектом на степень тиксотропности. Значимое ($p<0,05$) влияние на степень тиксотропности также оказывают квадратичные факторы дозы УФ облучения и дозы внесения раствора КСБ и фактор взаимодействия линейных факторов м.д. белка и дозы внесения раствора КСБ. Из всех значимых факторов отрицательным эффектом на степень тиксотропности обладает квадратичный фактор дозы УФ облучения. Последнее свидетельствует о снижении степени тиксотропности с увеличением дозы УФ облучения.

Данные по степени тиксотропности, полученные при трехфакторном эксперименте по оптимизации условий УФ обработки раствора КСБ, были подвергнуты регрессионному анализу. Было получено уравнение 3.4, описывающее зависимость степени тиксотропности от вариабельных факторов:

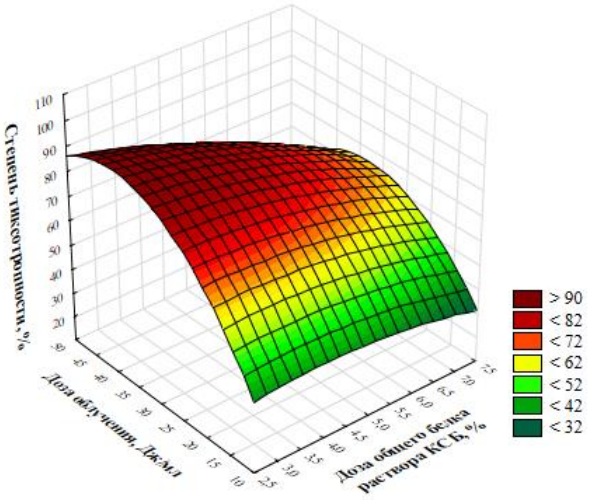
$$Y=92,6162–1,0343*X_1– 0,7191*X_1^2+4,8937*X_2 –0,0572*X_2^2– 6,14037*X_3+0,0522 X_3^2–0,15*X_1*X_2+0,4031*X_1*X_3–0,0004*X_2*X_3 \quad (3.4)$$

$R^2=0,6919$

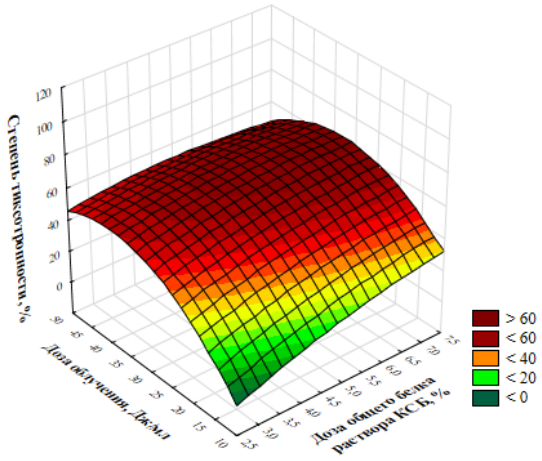
Статистически значимы ($p<0,05$) коэффициенты при таких членах, как доза УФ облучения и доза внесения раствора КСБ линейного и квадратичного характеров, а также фактора взаимодействия между линейными факторами м.д. белка и дозой внесения раствора КСБ (уравнение 3.4).

Наличие отрицательного коэффициента при квадратичном факторе дозы УФ облучения свидетельствует о наличии локального максимума, а положительного коэффициента при квадратичном факторе дозы внесения раствора КСБ свидетельствует о наличии локального минимума.

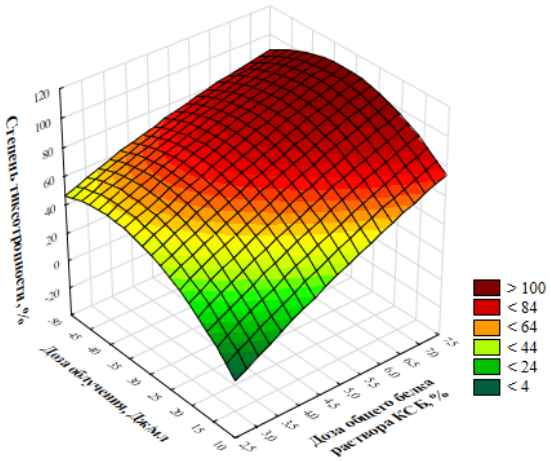
Поверхности отклика степени тиксотропности от вариабельных параметров представлены на рисунке 3.26.




а)




б)




в)

| |
|---|
| а=84,88-0,81*x-0,72*$x^2$+5,25*y-0,06*$y^2$-0,15*x*y+8*x-0,0086*y-101,92 |
| б=84,88-0,80*x-0,72*$x^2$+5,25*y-0,06*$y^2$-0,15*x*y+16,12*x-0,0172*y-162,09 |
| в=84,88-0,801*x-0,72*$x^2$+5,24*y-0,06*$y^2$-0,15*x*y+24,18*x-0,0258*y-180,52 |

Рисунок 3.26 – Зависимость степени тиксотропности кисломолочных продуктов от вариабельных параметров при среднем уровне третьего фактора при дозе внесения раствора КСБ: а) 20%, б) 40%, в) 60%

Согласно профилю предсказанных значений и функции желательности (рис. 3.27) для достижения максимальной степени тиксотропности кисломолочного продукта доза внесения раствора КСБ должна составлять 60% при м.д. белка 7%, подвергнутого дозе облучения 30 Дж/мл.

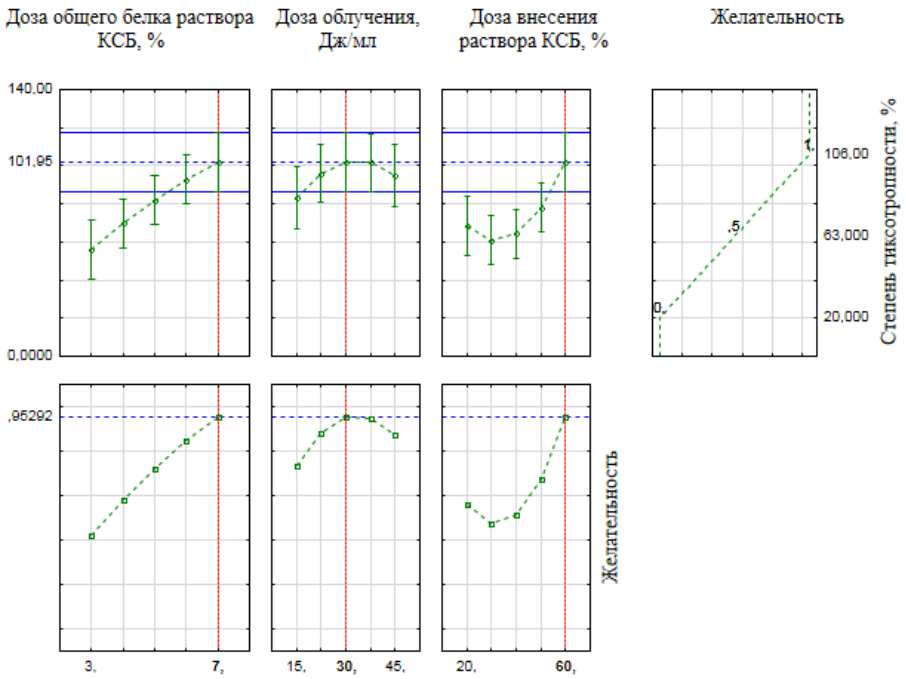



Рисунок 3.27 – Профили предсказанных значений и функции желательности вариабельных параметров для степени тиксотропности молочного продукта

Результаты статистического анализа эффектов вариабельных параметров на коэффициент механической стабильности приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Эффекты вариабельных факторов на коэффициент механической стабильности кисломолочного продукта

| Фактор | Эффект | Ст. откл. | t(28) | p | -95,% | +95,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Сред/Св.член | 21,243 | 15,83687 | 1,34134 | 0,190590 | -11,198 | 53,6829 |
| (1)Доза общего белка раствора КСБ, %(L) | 3,16356 | 0,716164 | 4,41737 | 0,000136 | 1,69656 | 4,63055 |
| Доза общего белка раствора КСБ, %(K) | -4,15400 | 1,237247 | -3,35745 | 0,002279 | -6,68839 | -1,61961 |
| (2)Доза облучения, Дж/мл(L) | -0,11351 | 2,366927 | -0,04795 | 0,962093 | -4,96193 | 4,73492 |
| Доза облучения, Дж/мл(K) | -6,48900 | 1,237247 | -5,24471 | 0,000014 | -9,02339 | -3,95461 |
| (3)Доза внесения раствора КСБ, %(L) | 7,15149 | 2,366927 | 3,02143 | 0,005327 | 2,30307 | 11,99992 |
| Доза внесения раствора КСБ, %(K) | -0,02600 | 1,237247 | -0,02101 | 0,983383 | -2,56039 | 2,50839 |
| 1L на 2L | -4,78351 | 2,366927 | -2,02098 | 0,052937 | -9,63193 | 0,06492 |
| 1L на 3L | 2,87375 | 1,383285 | 2,07748 | 0,047045 | 0,04022 | 5,70728 |
| 2L на 3L | -3,68875 | 1,383285 | -2,66666 | 0,012583 | -6,52228 | -0,85522 |

Как видно из данных таблицы 3.14 наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на коэффициент механической стабильности кисломолочного продукта оказывают линейные факторы м.д. белка и дозы внесения раствора КСБ, а также квадратичные факторы м.д. общего белка и дозы УФ облучения раствора КСБ. Фактор взаимодействия линейных факторов м.д. белка и дозы внесения оказывает положительное действие. А фактор взаимодействия дозы УФ облучения и дозы внесения – отрицательное. Последнее свидетельствует о снижении коэффициента механической стабильности с ростом значений данных факторов.

Данные по коэффициенту механической стабильности, полученные при трехфакторном эксперименте, были подвергнуты регрессионному анализу. Было получено уравнение 3.6, описывающее зависимость коэффициента потери вязкости от вариабельных факторов:

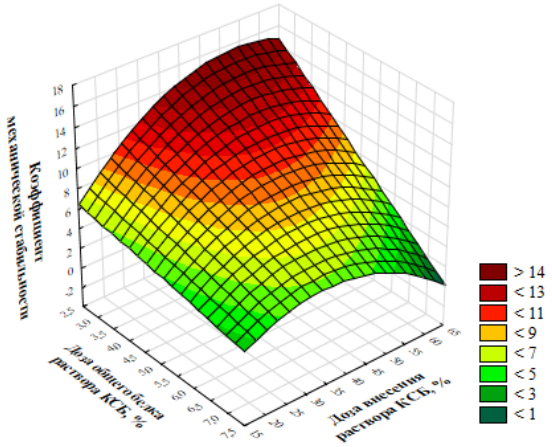
$$Y=13,1173 – 0,4891*X_1 –0,0141*X_1^2–1,2727*X_2+0,0159*X_2^2 – 0,8107*X_3–0,0059*X_3^2+0,0479*X_1*X_2–0,0416*X_1*X_3–0,0034*X_2*X_3 \quad (3.6)$$

$R^2=0,6922$

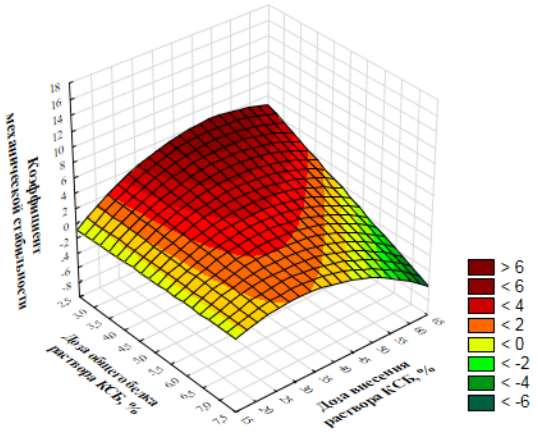
Статистически значимы ($p<0,05$) коэффициенты при таких членах, как доза УФ облучения линейного и квадратичного характеров, доза внесения раствора КСБ линейного характера, а также факторы взаимодействия между линейными факторами м.д. белка и дозой УФ облучения; м.д. белка и дозой внесения раствора КСБ (уравнение 3.6).

Поверхности отклика коэффициента механической стабильности от вариабельных параметров представлены на рисунке 3.28.

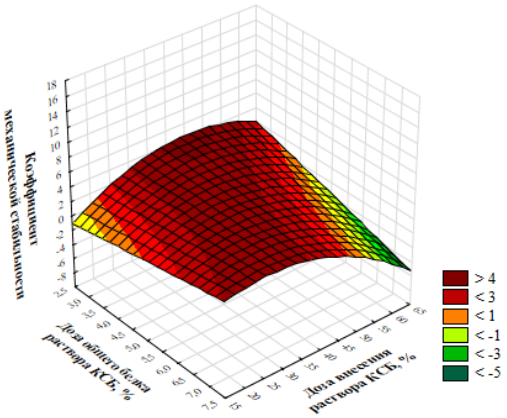
Согласно профилю предсказанных значений и функции желательности (рис. 3.29) для достижения оптимального коэффициента механической стабильности кисломолочного продукта доза внесения раствора КСБ должна составлять 50% при м.д. белка 3%, подвергнутого дозе облучения 15 Дж/мл.




а)




б)




в)

| |
|---|
| а=15,13-0,56*x-0,014*$x^2$+0,81*y-0,005*$y^2$-0,046*x*y+0,049*15,*x-0,003*15*y-17,528369 |
| б=15,13-0,56*x-0,014*$x^2$+0,81*y-0,005*$y^2$-0,046*x*y+0,04*30*x-0,003*30*y-25,892054 |
| в=15,13-0,56*x-0,014*$x^2$+0,81*y-0,005*$y^2$-0,046*x*y+0,049*45*x-0,003*45*y-27,104244 |

Рисунок 3.28 – Зависимость коэффициент механической стабильности кисломолочных продуктов от вариабельных параметров при дозе УФ облучения: а) 15 Дж/мл, б) 30 Дж/мл, в) 45 Дж/мл

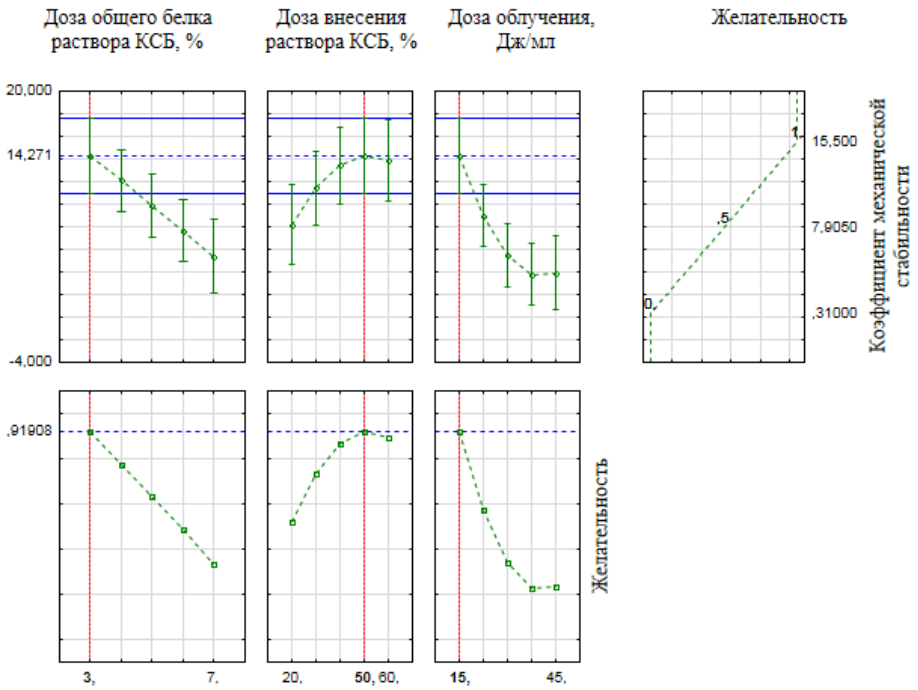



Рисунок 3.29 – Профили предсказанных значений и функции желательности вариабельных параметров для коэффициента механической стабильности молочного продукта

Для выбора оптимальных условий УФ обработки раствора КСБ были сопоставлены результаты трехфакторного эксперимента по различным из ключевых параметров. В результате было установлено, что доза внесения раствора КСБ должна составлять 40% при м.д. белка 6%, подвергнутого дозе УФ облучения 30 Дж/мл (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Оптимальные значения вариабельных параметров для УФ обработки раствора КСБ

| Вариабельные параметры | Оптимальные значения |
|---|---|
| М.д. белка раствора КСБ, % | 6 |
| Доза УФ облучения, Дж/мл | 30 |
| Доза внесения раствора КСБ, % | 40 |

На следующем этапе исследований в указанных выше оптимальных условиях необходимо было получить кисломолочный продукт и оценить комплекс его

показателей, включающий структурно-механические характеристики, влагоудерживающая способность, микробиологические характеристики, органолептическую оценку, в том числе в процессе хранения.

## 3.6. Определение комплекса показателей проектируемого кисломолочного продукта

В таблице 3.16 представлена рецептура проектируемого продукта кисломолочного. Физико-химические показатели продукта представлены в таблице 3.17

Таблица 3.16. Рецептура проектируемого продукта кисломолочного

| Наименование сырья | Количество, кг |
|---|---|
| Раствор КСБ | 400 |
| Молоко | 570 |
| Производственная закваска (*Lactobacillus acidophilus и Streptococcus thermophilus*) | 30,0 |
| Итого | 1000,0 |

Таблица 3.17 - Физико-химические показатели продукта кисломолочного

| Наименование показателя | Значение |
|---|---|
| Массовая доля жира, % | 1,5±0,15 |
| Массовая доля общего белка, % | 4,75±0,12 |
| Массовая доля сывороточных белков, % | 2,82±0,09 |
| Массовая доля казеиновых белков, % | 1,8±0,12 |
| Массовая доля сухих веществ, % | 11,05±0,4 |
| Количество молочнокислых микроорганизмов, КОЕ/г | $7 \cdot 10^7$ |

Органолептическая оценка исследуемого кисломолочного продукта в сравнении с контролем представлена на рисунке 3.30. Тестируемые образцы обладали однородной, желеобразной консистенцией, глянцевой поверхностью, кисломолочным вкусом, молочно-белого цвета. В отличае от контроля, исследуемый кисломолочный продукт обладал более плотной консистенцией и

лучшей упругостью. Также более интенсивно были выражены желеобразность и ломкость. Интенсивность запаха УФ обработки была слабо выражена, без проявления посторонних запахов.

Рисунок 3.30 – Органолептическая оценка тестируемых образцов

Для определения структурно-механических показателей и ВУС кисломолочного продукта с оптимизационным составом в процессе хранения были выработаны по три партии продукта и заложены на хранение при температуре (4 ± 2) °С на 20 суток (предполагаемый срок годности – 15 суток). Предварительно восстановленный раскисленный до 7,0 ед. pH раствор КСБ до содержания белка 6,0% подвергали УФ облучению в дозе 30 Дж/мл. Полученный модифицированный раствор КСБ в дозе 40 % вносили в подогретое молоко при (40±2) °С. Смесь гомогенизировали при 15±2,5 МПа при температуре от 45 до 80 °С. Затем полученную смесь пастеризовали при температуре (86 ± 1) °С с выдержкой 10 минут, охлаждали до температуры заквашивания. Для сквашивания использовали производственную бактериальную закваску АТС (ТУ 9229-369-00419785-04) из коллекции Центральной лаборатории микробиологии ФГАНУ «ВНИМИ», состоящую из ацидофильной палочки и термофильного стрептококка (*Lactobacillus*

*acidophilus, Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*). Сквашивание проводили термостатным способом при температуре (37 ± 2) °С до 6 часов.

Микробиологические показатели готового продукта, в том числе количество ММ, соответствовали нормам, изложенным в ТР ТС 033/2013 на протяжении всего срока хранения.

Графическая иллюстрация процесса кислотообразования продукта кисломолочного в процессе хранения в сравнении с контролем с аналогичным составом, но не подвергнутый УФ облучению, представлена на рисунке 3.31.

В исследуемом образце кисломолочного продукта активная кислотность при хранении (рис. 3.31) в течение 20 суток снижалась с 4,54 до 4,26 ед. pH, в контроле – с 4,56 до 4,34 ед. pH. Титруемая кислотность в процессе хранения в опытном образце возрастала с 61 до 109 °Т, в контрольном – с 81 до 115 °Т.

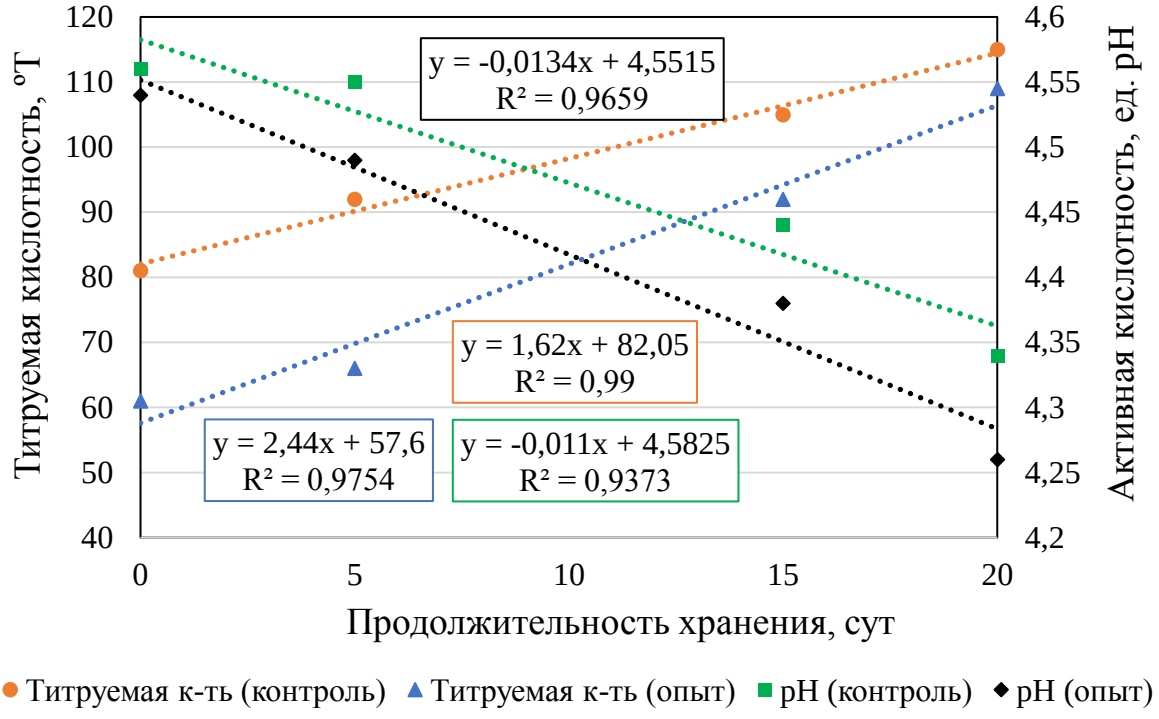



Рисунок 3.31 – Изменение кислотности в процессе сквашивания кисломолочного продукта

В таблице 3.18 представлены данные по содержанию молочнокислых микроорганизмов в процессе хранения. Из представленных данных видно снижение микроорганизмов в пределах одного порядка на 20 сутки хранения.

Таблица 3.18 – Содержание молочнокислых микроорганизмов в процессе хранения

| Продолжительность хранения, сут. | Количество ММ, КОЕ/см$^3$ |
|---|---|
| фон | $7 \cdot 10^7$ |
| 5 | $7 \cdot 10^7$ |
| 10 | $5 \cdot 10^7$ |
| 15 | $5 \cdot 10^7$ |
| 20 | $1{,}36 \cdot 10^7$ |

Влагоудерживающая способность опытного образца сохранялась около 98% на всем исследуемом периоде хранения (рисунок 3.32).

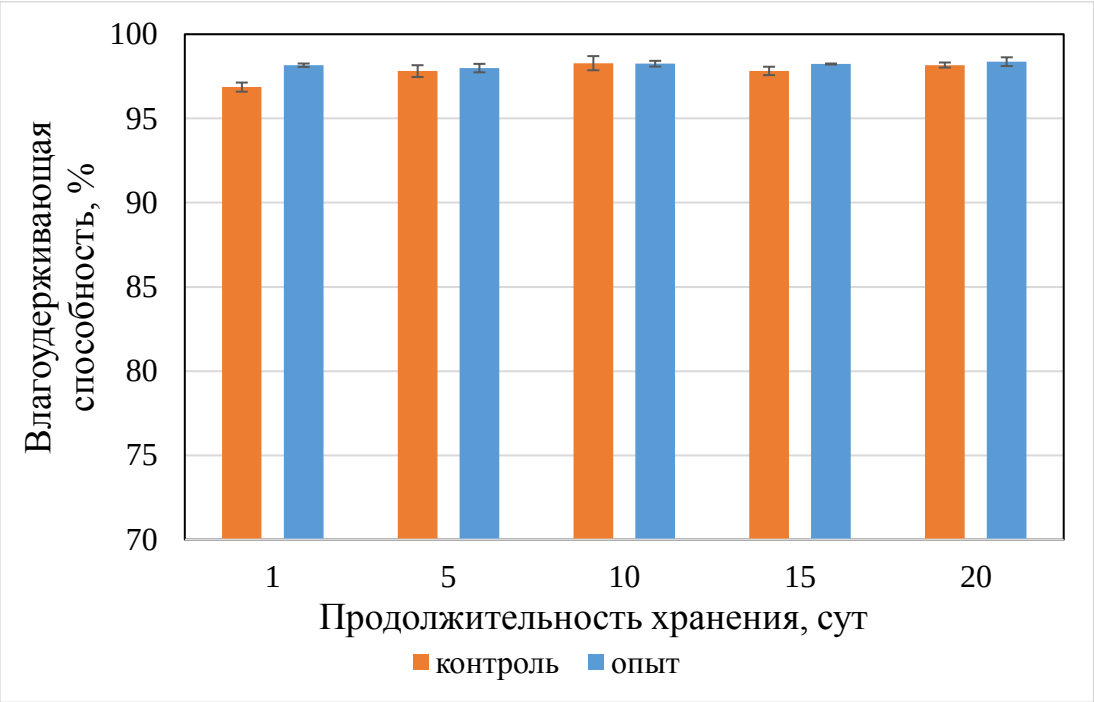



Рисунок 3.32 - Влагоудерживающая способность в процессе хранения

На рисунке 3.33 представлены зависимости изменения показателей динамической вязкости исследуемых образца продукта с оптимизационным составом в процессе хранения в сравнении с контролем.

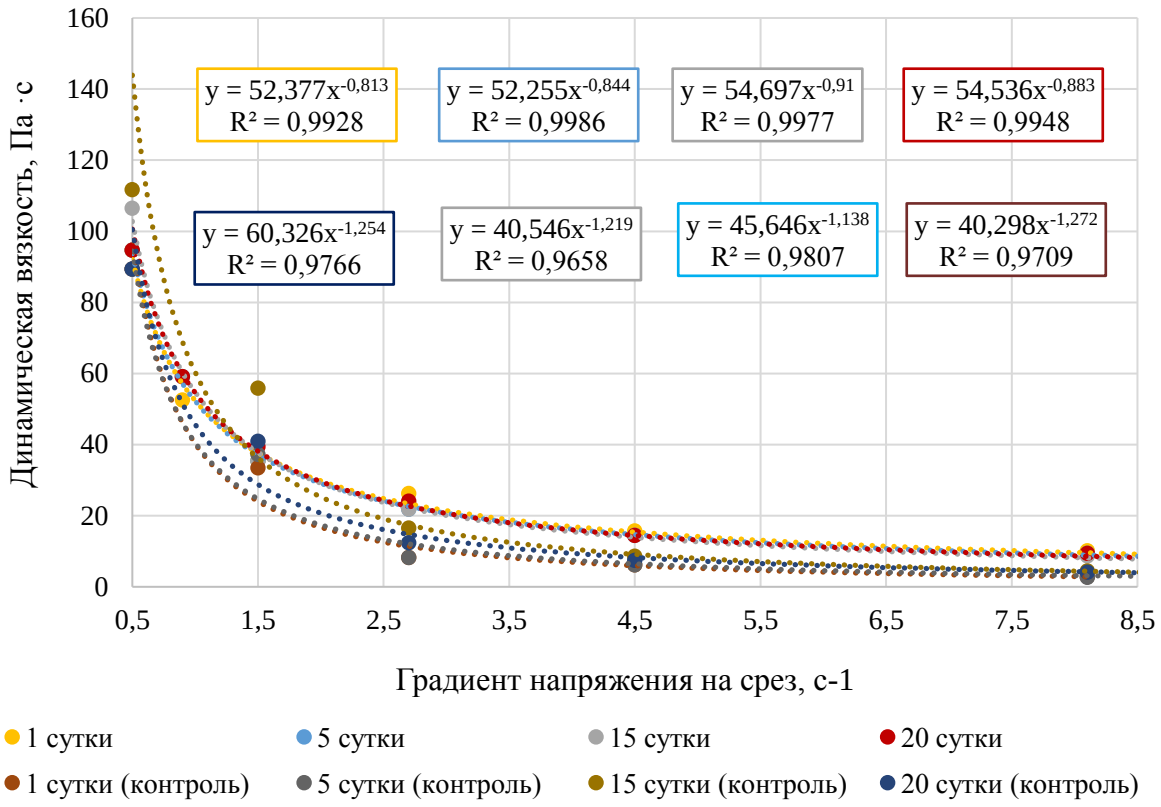



Рисунок 3.33 – Показатели динамической вязкости и кисломолочного продукта в процессе хранения

Анализ полученных данных показал стабильность в процессе хранения вязкостных показателей контроля и кисломолочного продукта с оптимизационным составом. При этом показатели вязкости контрольного образца были ниже.

Для описания деформационного поведения исследуемых продуктов, исходя из полученных данных по вязкостным показателям были рассчитаны степень тиксотропности, КМС и КПВ в процессе хранения. Данные представлены в таблице 3.21. Анализ структурно-механических характеристик показал, что в процессе хранения кисломолочный продукт обладал наилучшими по сравнению с контролем показателями устойчивости структуры (таб. 3.19). На всем исследуемом диапазоне хранения у опытного образца значение степени тиксотропности составляло (53,5±3,5) %. Также структура исследуемого продукта по сравнению с контролем обладала наилучшей механической стабильностью при меньшей потере вязкости (табл. 3.19).

Таблица 3.19 – Показатели устойчивость структуры кисломолочного продукта к разрушению

| Продолжительность хранения, сут. | Опытный образец | | | Контроль | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | СТ, % | КМС | СПη, % | СТ, % | КМС | СПη, % |
| 1 | 57±3,0 | 2,0±0,1 | 50,0±1,2 | 44±3,0 | 9,0±0,1 | 88,8±1,2 |
| 5 | 57±2,0 | 1,8±0,1 | 44,4±1,1 | 47±3,5 | 10,0±0,1 | 90,0±1,4 |
| 10 | 57±3,0 | 2,0±0,1 | 50,0±1,3 | 37±3,0 | 11,0±0,1 | 99,0±1,1 |
| 15 | 56±3,5 | 1,8±0,1 | 44,4±1,1 | 40±2,5 | 16,0±0,1 | 99,3±1,3 |
| 20 | 55±2,0 | 2,0±0,1 | 50,0±1,2 | 45±3,0 | 17,0±0,1 | 99,5±1,4 |

На рисунке 3.9 представлены показатели предельного напряжения сдвига исследуемых образцов кисломолочных продуктов в процессе хранения. В отличие от контроля, в опытном образце показатели ПНС были выше на всем исследуемом диапазоне хранения (рис. 3.34). При этом показатели ПНС контроля снижались, начиная с 15 суток хранения. Опытный образец показал стабильность значений данного показателя.

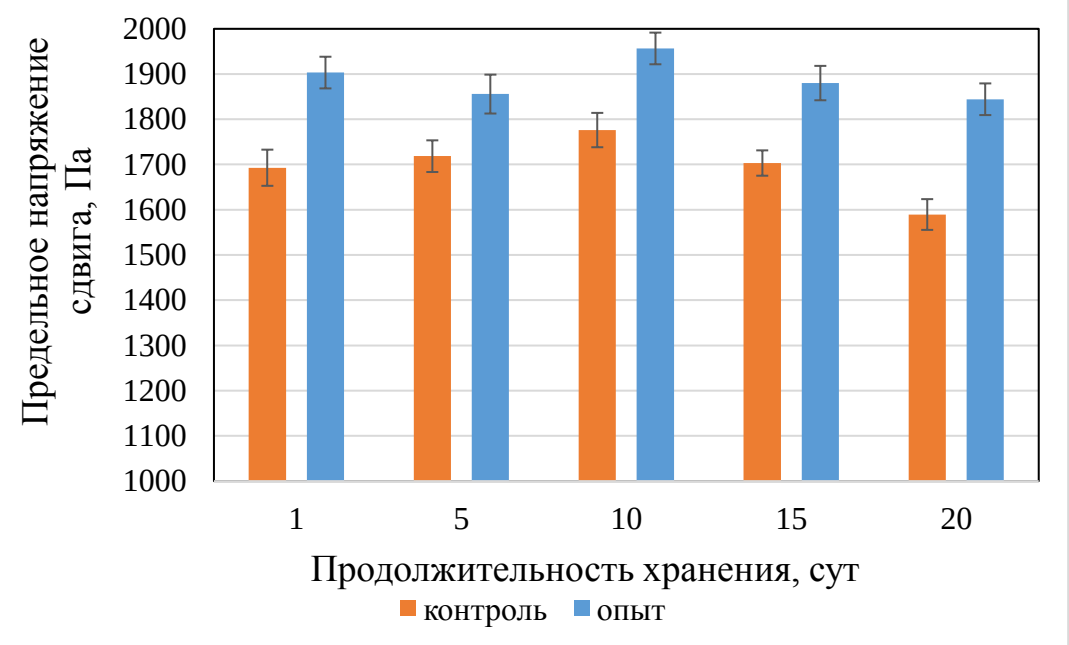



Рисунок 3.34 - Предельное напряжения сдвига в процессе хранения

На основании проведенных исследований определены рекомендуемые сроки годности кисломолочного продукта с оптимизированным составом – 15 суток.

### 3.7. Разработка технических условий на продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка

Разработанный кисломолочный продукт был исследован по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. Нормируемые органолептические показатели продукта кисломолочного представлены в таблице 3.20. Нормируемые физико-химические показатели – в таблице 3.21. Принципиальная технологическая схема производства продукта кисломолочного с повышенным содержанием белка термостатным способом представлена на рисунке 3.35.

Таблица 3.20 - Нормируемые органолептические показатели продукта кисломолочного

| Наименование показателя | Значение нормируемого показателя |
|---|---|
| Внешний вид и консистенция | Однородная, с ненарушенным сгустком, желеобразная |
| Вкус и запах | Чистый, кисломолочный, незначительное присутствие запаха, свойственного при УФ обработке |
| Цвет | Молочно-белый, равномерный |

Таблица 3.21 - Физико-химические показатели продукта кисломолочного

| Наименование показателя | Значение показателя |
|---|---|
| Массовая доля белка, %, не менее | 4,5 |
| Массовая доля сухих веществ, %, не менее | 11,0 |
| Кислотность, °Т | от 60 до 115 |
| Активная кислотность, ед. pH, не ниже | 4,3 |
| Количество молочнокислых микроорганизмов, КОЕ/г, не менее | $1 \cdot 10^7$ |

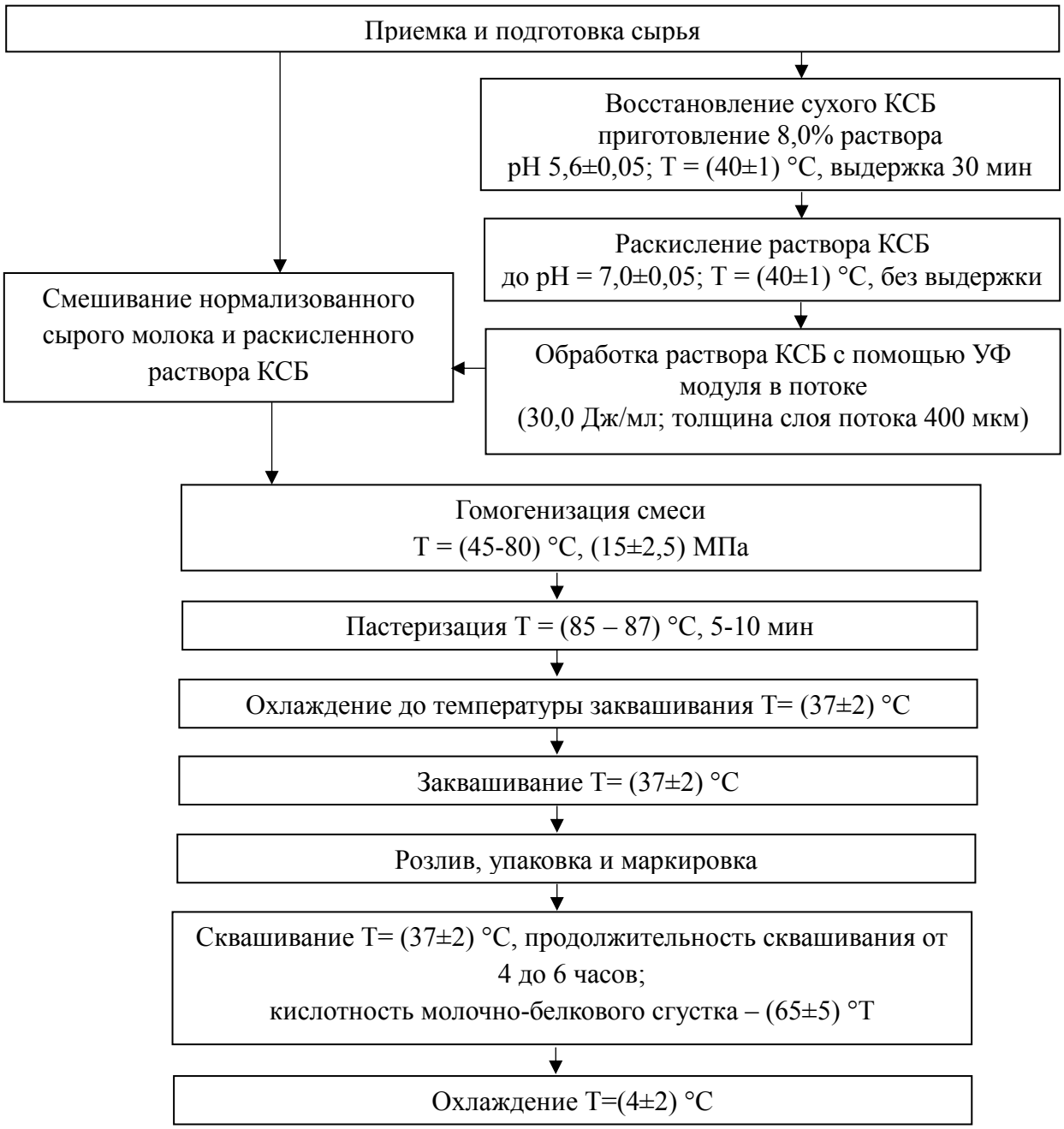



Рисунок 3.35– Принципиальная технологическая схема производства продукта кисломолочного с повышенным содержанием белка термостатным способом

По результатам комплексных исследований разработан комплект ТД (ТУ, И ТУ 9222-538-00419785-14) на продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана технология кисломолочного продукта с улучшенными влагоудерживающими, тиксотропными, вязкостными и др. характеристиками, полученного с использованием модифицированных УФ облучением сывороточных белков.
2. Проведен анализ научно-технической информации по теме диссертационной работы. По результатам подготовлен критический обзор и обосновано направление исследований.
3. Установлены зависимости влияния доз УФ облучения в диапазоне от 0 до 185 Дж/мл и м.д. белка растворов КСБ в диапазоне от 3 до 7% на изменения их физико-химических и микробиологических показателей. Показано, что с увеличением дозы УФ облучения до 185 Дж/мл в растворе КСБ с м.д. белка 3,0% в большей степени снижалась растворимость белка: с 92 до 30%, а также содержание β-лактоглобулина с 34,6 до 1,9 мг/мл. Для растворов КСБ с м.д. белка 5,0 и 7,0% растворимость белка снижалась с 98 и 97% до 93 и 94% соответственно, содержание β-лактоглобулина с 41,3 и 70,2 до 12,3 и 25,5 мг/мл соответственно. В растворах КСБ с м.д. белка 5,0% с возрастанием дозы УФ облучения до 45 Дж/мл снижалось содержание КМАФАнМ с 4,7 до 2,9 lg КОЕ/см$^3$. С увеличением дозы УФ облучения до 45 Дж/мл в растворах КСБ с м.д. белка 3,0 и 5,0% снижалось поверхностное натяжение с 56,5 и 54,7 до 32,87 и 39,27 мН/м соответственно. Доказано, что с увеличением дозы УФ облучения в растворах КСБ с м.д. белка 3,0; 5,0 и 7,0% повышается количество свободных SH-групп с 10,11; 10,52; 10,23 до 31,17; 36,22; 29,02 мкм SH/г белка соответственно, что косвенно свидетельствует о процессе полимеризации белковых структур.
4. Установлено влияние концентрации и дозы УФ облучения раствора КСБ в системе на влагоудерживающую способность и вязкость образцов после сквашивания. При м.д. белка раствора КСБ 3,0% в диапазоне УФ облучения от 37 до 185 Дж/мл в сквашенных растворах КСБ резко возрастали значения

ВУС с 9% в образце без облучения до (86 – 90) %. Показано, что максимальное значение эффективной вязкости достигалось при дозе УФ облучения 148 Дж/мл и составляло 2,17 Па·с. В диапазоне доз УФ облучения от 15 до 45 Дж/мл и м.д. белка растворов КСБ 3,0; 5,0 и 7,0% показатели ВУС возрастали до 97,5% при снижении степени синерезиса до 0% как с повышением дозы облучения, так и концентрацией растворов. Наибольшие показатели динамической вязкости соответствовали сквашенным растворам КСБ, подвергнутым дозе УФ облучения 45 Дж/мл.

5. Оптимизирована УФ обработка раствора КСБ для его применения в технологии кисломолочного продукта. В результате установлено, что рациональная доза внесения раствора КСБ в рецептуре кисломолочного продукта составила 40% при массовой доле белка 6%, подвергнутого УФ облучению в дозе 30 Дж/мл.
6. Установлено, что микробиологические показатели готового продукта на протяжении всего срока хранения соответствовали нормам, установленным ТР ТС 033/2013. Значение степени тиксотропности при хранении у опытного образца составляло (53,5±3,5) %. Структура исследуемого продукта по сравнению с контролем обладала наилучшей механической стабильностью (КМС 1,8 – 2,0) при меньшей степени потери вязкости в диапазоне (44,4 – 50) %.
7. Научно обоснованы режимы получения продукта кисломолочного термостатным способом. Разработан и утвержден комплект ТД (ТУ 9222-538-00419785-14, ТИ «Продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка»). Проведено промышленное внедрение на ООО «Южский Молочный Завод».

## Список используемой литературы


1. Короткий, И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки / И.А. Короткий, И.Б. Плотников, И.А. Мазеева // Техника и технология пищевых производств. - 2019. - Т 49. - № 2. - С. 227–234.

2. Горлов, И.Ф. Инновационная технология переработки молочной сыворотки с использованием модифицированного крахмала / И.Ф. Горлов, Н.И. Мосолова, О.П. Серова, Е.А. Лопаева, Я.О. Левина // Инновационная технология переработки молочной сыворотки с использованием модифицированного крахмала // Хранение и переработка сельхозсырья. - № 2. - С. 58–61.

3. Khramtsov, A.G. et al. Evolution of whey processing: past, present, future (part 1) / A.G. Khramtsov, A.A. Borisenko, I.A. Evdokimov, A.A. Borisenko, A.A. Bratsikhin, L.A. Borisenko // Sovremennye nauki i innovacii - 2021. - № 2. - С. 129–139.

4. Храмцов, А.Г. Прогностический взгляд на перспективы переработки молочной сыворотки / А.Г. Храмцов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2018. - № 2–3. - С. 9–12.

5. Пономарев, А.Н. Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов / А.Н. Пономарев, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова // Молочная промышленность. - 2018. - № 7. - С. 38–39.

6. Khramtsov, A.G. The evolution of whey processing: past, present, future (part 2) / A.G. Khramtsov, A.A. Borisenko, I.A. Evdokimov, A.A. Borisenko, A.A. Bratsikhin, L.A. Borisenko // Sovremennye nauki i innovacii. - 2021. - № 3(35). - С. 126–139.

7. Золоторева, М.С. Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства / М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, И.А. евдокимов, В.Д. Харитонов // Молочная промышленность. - 2018. - № 5. - С. 36–39.

8. Володин, Д.Н. Использование сывороточных ингредиентов в производстве продуктов питания / Д.Н. Володин, М.С. Золотаревав, А.В. Костюк // Молочная промышленность. - 2017. - № 2. - С. 62–67.

9. Евдокимов, И.А. Технологии функциональных кисломолочных продуктов с применением сывороточных ингредиентов / И.А. Евдокимов, М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, М.И. Шрамко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. - 2017. - № 6 (63). - С. 9–17.

10. Володин, Д.Н. Сывороточные ингредиенты: анализ рынка и перспективы производства / Д.Н. Володин, М.С, Золотарева, В.К. Топалов // Молочная промышленность. - 2015. - № 3. - С. 60–62.

11. Eissa, A.S. Effect of SDS on whey protein polymers. Molecular investigation via dilute solution viscometry and dynamic light scattering / A.S. Eissa // Food Hydrocoll. Elsevier. - 2019. - Vol. 87. - P. 97–100.

12. Jiang, S. Effect of heat treatment on physicochemical and emulsifying properties of polymerized whey protein concentrate and polymerized whey protein isolate / S. Jiang, M. Altaf hussain, J. Cheng, Z. Jiang, Y. Sun, C. Sun, J. Hou // Food Science and Technology/ - 2018. - Vol. 98. - P. 134–140.

13. Витушкина, М.А. Сывороточные белки молока и их свойства / М.А. Витушкина, М.А. Дулепова // Вестник науки. - 2020. - № 5 (8 (29)). - С. 51–58.

14. Melnikova, E.I. Preparation and use of the whey protein microparticulate in the sour cream production technology / E.I. Melnikova, E.B. Stanislavskaya // Food Systems. - 2021. - Vol. 4. - № 2. - P. 117–125.

15. Melnikova, E.I. Use of whey protein ingredients to produce milk fat simulants / E.I. Melnikova, E.B. Stanislavskaya, K. Y. Baranova // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. - Vol. 82/ - № 3. - P. 90–95.

16. Kandasamy, S. Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: an updated overview / S. Kandasamy, J. Yoo, J. Yun, H. Kang, K. Seol,

H. Kim, J. Ham // Coatings. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. -2021. - Vol. 11. - № 9. - P. 1056.

17. Karaca, O.B. et al. New concept in packaging: Milk protein edible films / O. B. Karaca, C. A. Oluk, Tansu Taşpinar, M. Güven // Health and Safety Aspects of Food Processing Technologies. - 2019. - PP. 537–565.

18. Mihalca, V. et al. Protein-based films and coatings for food industry applications / V. Mihalca, A. D. Kerezsi, A. Weber, C. Gruber-Traub, J. Schmucker, D. Vodnar, F. Dulf, S. Socaci, A. Fărcaș, C. Mureșan, R. Suharoschi, O. Pop // Polymers (Basel). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. - 2021. - Vol. 13. - № 5. - P. 769.

19. Патент RU2670074, Агрегированные частицы сывороточного белка и их применение / М. Кройсс, А. Лацидис // Опубл. 2018.10.17.

20. Fang, T. Effects of polymerized whey protein prepared directly from cheese whey as fat replacer on physiochemical, texture, microstructure and sensory properties of low-fat set yogurt / T. Fang, Xue Shen, Juncai Hou, M. Guo // LWT - Food Science and Technology. - 2019. - Vol. 115. - P. 108268.

21. Bierzuńska, P. Determination of antioxidant activity of yoghurt enriched with polymerized whey protein / P. Bierzuńska, D. Cais-Sokolinska // Mljekarstvo. - 2018. - Vol. 68. - № 4. - PP. 272–281.

22. Bierzuńska, P., Cais-Sokolińska D., Yiğit A. Storage stability of texture and sensory properties of yogurt with the addition of polymerized whey proteins / P. Bierzuńska, D. Cais-Sokolinska, A. Yiğit // Foods. - 2019. - Vol. 8. - № 11. - PP. 1–9.

23. Wang, C. Effects of polymerized whey protein on goaty flavor and texture properties of fermented goat milk in comparison with β-cyclodextrin / Ce Wang, Cuina Wang, F. Gao, Y. Xu, M. Guo// Journal of Dairy Research. - 2018. - Vol. 85. - № 4. - PP. 465–471.

24. Wang, H. Impact of polymerized whey protein/pectin thickening (PP) system on

physical properties and volatile compounds of goat milk kefir mild and kefir / Hao Wang, Ce Wang, M. Guo // Journal of Food Science. - 2021. - Vol. 86. - № 3. PP. 1014–1021.

25. Schmid M., Müller K. Whey Protein-Based Packaging Films and Coatings // Whey Proteins: From Milk to Medicine. Academic Press, 2019. P. 407–437.

26. Guo M., Shen X. Modifications of whey protein // Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications. 2019. P. 205–225.

27. de Castro R.J.S. et al. Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications // Food Struct. Elsevier. - 2017. - Vol. 14. - P. 17–29.

28. Delorme, M.M. Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods / M. M. Delorme, J. Guimarães, N. M. Coutinho, C. Balthazar, R. Rocha, R. Silva, L. P. Margalho, T. C. Pimentel, M. C. Silva, M. Q. Freitas, D. Granato, A. Sant'Ana, M.C.K.H. Duart, A. Cruz // Trends Food Sci. Technol. - 2020. - Vol. 102. - P. 146–154.

29. Zink, J. Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: an extensive review / J. Zink, T. Wyrobnik, T. Prinz, M. Schmid // Int. J. Mol. Sci. - 2016. - Vol. 17. - P. 1376.

30. Koca N., Urgu M., Saatli T.E. Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing - Google Книги // echnological approaches for novel applications in dairy processing. 2018.

31. Barba F.J. High Pressure Treatment Effect on Physicochemical and Nutritional Properties of Fluid Foods During Storage: A Review / F. Barba, M. Esteve, A. Frígola // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. - 2012. - Vol. 11. - № 3. - P. 307–322.

32. Moreno-Vilet, L. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel thermal processing / H. Hernández-Hernández, L. Moreno-Vilet, S. Villanueva-Rodríguez // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. Elsevier. - 2018. -

Vol. 50. - P. 196–206.

33. Barba, F.J. Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review / F. Barba, M. Koubaa, L. Prado-Silva, V. Orlien, A. Sant'Ana // Trends Food Sci. Technol. Elsevier. - 2017. - Vol. 66. - P. 20–35.

34. Aaliya, B. Recent trends in bacterial decontamination of food products by hurdle technology: A synergistic approach using thermal and non-thermal processing techniques / B. Aaliya, K. V. Sunooj, M. Navaf, P. P. Akhila, Cherakkathodi Sudheesh, S. A. Mir, S. Sabu, A. Sasidharan, M. T. Hlaing, J. George // Food Res. Int. Elsevier. - 2021. - Vol. 147. - P. 110514.

35. Papademas, P.Aspri M. Optimization of UV-C Processing of Donkey Milk: An Alternative to Pasteurization? / P. Papademas, P. Mousikos, M. Aspri // Animals. - 2020. - Vol. 11. - № 1. - P. 42.

36. Atik, A., Gumus T. The effect of different doses of UV-C treatment on microbiological quality of bovine milk / A. Atik, T. Gumus // Food Science and Technology. - 2021. - Vol. 136. - P. 110322.

37. Soni, A. et al. Applications of novel processing technologies to enhance the safety and bioactivity of milk / A. Soni, L. Samuelsson, S. Loveday, Tanushree B. Gupta // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. - 2021. - Vol. 20. - № 5. - P. 4652–4677.

38. Masotti, F. Current insights into non-thermal preservation technologies alternative to conventional high-temperature short-time pasteurization of drinking milk / F. Masotti, S. Cattaneo, M. Stuknytė, I. De Noni // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. - 2021. - P. 1–18.

39. Simmons, M.J.H. Development of a hydrodynamic model for the UV-C treatment of turbid food fluids in a novel 'SurePure turbulator™' swirl-tube reactor / M. Simmons, F. Alberini, A. N. Tsoligkas, J. Gargiuli, D. Parker, P. Fryer, S. Robinson // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. - 2012. - Vol. 14. - P. 122–134.

40. Мяленко, Д.М. Разработка и совершенствование технологии обеззараживания

упаковки ультрафиолетовым облучением /Д.М. Мяленко, О.Б. Федотова // Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонова в наукоемких технологиях переработки молока. Москва: Федеральное государственное автономное научное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности,” 2021. С. 207–226.

41. Romanhole, R.C. Update on ultraviolet A and B radiation generated by the sun and artificial lamps and their effects on skin / R. C. Romanhole, J. A. Ataide, P. Moriel, P. Mazzola // Int. J. Cosmet. Sci. - 2015. - Vol. 37. - № 4. - P. 366–370.

42. Peng, K. et al. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review / Kaidi Peng, M. Koubaa, O. Bals, E. Vorobiev // Food Res. Int. - 2020. - Vol. 137. - P. 109544.

43. Ochoa-Velasco, C.E. Effect of UV-C light on Lactobacillus rhamnosus, Salmonella Typhimurium, and Saccharomyces cerevisiae kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect / C. Ochoa-Velasco, M. C. Díaz-Lima, R. Ávila-Sosa, I. Ruiz-López, E. Corona-Jiménez, P. Hernández-Carranza, A. López-Malo, J. Guerrero-Beltrán // J. Food Eng. - 2018. - Vol. 223. - P. 255–261.

44. Singh, H. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products / Harpreet Singh, S. Bhardwaj, Madhu Khatri, Ki-Hyun Kim, Neha Bhardwaj // Chem. Eng. J. - 2021. - Vol. 417. - P. 128084.

45. Caminiti, I.M. Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend / I. Caminiti, F. Noci, A. Muñoz, P. Whyte, D. Morgan, D. Cronin, J. Lyng // Food Chem. - 2011. - Vol. 124. - № 4. - P. 1387–1392.

46. Biancaniello, M. Feasibility of a novel industrial-scale treatment of green cold-pressed juices by uv-c light exposure / M. Biancaniello, V. Popovic, C. Fernandez-Avila, V. Ros-Polski, T. Koutchma // Beverages. - 2018. - Vol. 4. - № 2. - P. 1–15.

47. Yang, Y. Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties / Y. Yang,

H. Shen, Y. Tian, Z. You, Y. Guo // CyTA - J. Food. - 2019. - Vol. 17. - № 1. - P. 189–198.

48. Castro-Alférez, M. Mechanistic modeling of UV and mild-heat synergistic effect on solar water disinfection / M. Castro-Alférez, M. I. Polo-López, J. Marugán, P. Fernández-Ibáñez // Chem. Eng. J. - 2017. - Vol. 316. - P. 111–120.

49. Vilela, C. Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging / C. Vilela, R. J. B. Pinto, J. Coelho, M. Domingues, S. Daina, P. Sadocco, S. A. O. Santos, C. Freire // Food Hydrocoll. - 2017. - Vol. 73. - P. 120–128.

50. Федотова, О.Б. Нетрадиционный подход к обеззараживанию пищевой упаковки / О.Б. Федотова, Д.М. Мяленко // Молочная промышленность. - 2016. - № 1. - С. 25–27.

51. Мяленко, Д.М. Влияние ультрафиолетового излучения на санитарно-гигиенические показатели полиэтиленовой пленки, наполненной неорганическими компонентами, для молочной продукции / Д.М. Мяленко, Н.С. Головань // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2020. - № 11(164). - С. 205–212.

52. Федотова, О.Б. Исследование физико-механических показателей наполненной пищевой сажей полиэтиленовой пленки для молочной и пищевой продукции после воздействия на нее импульсным ультрафиолетовым излучением / О.Б. Федотова, Д.М. Мяленко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2020. - № 7(160). - С. 166–172.

53. Chen, B.-Y. Pulsed light sterilization of packaging materials / Bang-Yuan Chen, Hsiang-Mei Lung, B. Yang, Chung-Yi Wang // Food Packag. Shelf Life. - 2015. - Vol. 5. - P. 1–9.

54. Park, S.-K. Bactericidal effect of ultraviolet C light-emitting diodes: Optimization of efficacy toward foodborne pathogens in water / S. Ki Park, Du-Min Jo, Min-

Gyun Kang, F. Khan, S. D. Hong, C. Y. Kim, Young-Mog Kim, Uh-Chan Ryu // J. Photochem. Photobiol. B Biol. - 2021. - Vol. 222. - P. 112277.

55. Takada, A. Bactericidal effects of 310 nm ultraviolet light-emitting diode irradiation on oral bacteria / A. Takada, K. Matsushita, S. Horioka, Y. Furuichi, Y. Sumi // BMC Oral Health. - 2017. - Vol. 17. - № 96 (2017). - P. 10.

56. Haraguchi, A. Effects of ultraviolet irradiation equipment on endodontic disease–related bacteria / A. Haraguchi, M. Miura, O. Fujise, T. Hamachi, F. Nishimura // Lasers Dent. Sci. - 2022. - Vol. 6. - № 1. - P. 31–40.

57. Kim, D. Effect of surface characteristics on the bactericidal efficacy of UVC LEDs / Do-kyun Kim, D. Kang // Food Control. - 2020. - Vol. 108. - P. 106869.

58. Yolmeh, M. Evaluate the effects of ultraviolet radiation on the growth of Escherichia coli and Bacillus cereus isolated from raw milk and raw rice / M. Yolmeh, M.B. Habibi Najafi, M. Najafzadeh. // Iran. Food Sci. Technol. Res. J. - 2015. - Vol. 11. - № 4. - P. 319–324.

59. Srimagal, A. Effect of light emitting diode treatment on inactivation of Escherichia coli in milk / A. Srimagal, T. Ramesh, J. Sahu // LWT - Food Sci. Technol. - 2016. - Vol. 71. - P. 378–385.

60. Bhullar, M.S. Microbial inactivation and cytotoxicity evaluation of UV irradiated coconut water in a novel continuous flow spiral reactor / M. Bhullar, A. Patras, A.Kilanzo-Nthenge, B. Pokharel, S. Yannam, K. Rakariyatham, C. Pan, H. Xiao, M. Sasges // Food Res. Int. - 2018. - Vol. 103. - P. 59–67.

61. Unluturk, S. Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP) / S. Unluturk, Mehmet R. Atılgan, A. Baysal, C. Tarı // J. Food Eng. - 2008. - Vol. 85. - № 4. - P. 561–568.

62. Wadsworth, J. Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of UV light / J. Wadsworth, C. Cockell // Sci. Rep. - 2017. - Vol. 7. - № 1. - P. 4662.

63. Häder, D.-P. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with

other environmental factors / D. Häder, C. Williamson, S. Wängberg, M. Rautio, K. Rose, K. Gao, E. Helbling, R. Sinha, R. Worrest // Photochem. Photobiol. Sci. - 2015. - Vol. 14. - № 1. - P. 108–126.

64. Kristo, E. Structural changes imposed on whey proteins by UV irradiation in a continuous UV light reactor / E. Kristo, A. Hazizaj, M. Corredig // J. Agric. Food Chem. - 2012. - Vol. 60. - № 24. - P. 6204–6209.

65. Buhler, S. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey / S. Buhler, F. Solari, A. Gasparini, R. Montanari, S. Sforza, T. Tedeschi // Lwt- Food Science and Technology. - 2019. - Vol. 105. - №105. - P. 127–134.

66. Ansari, J.A. Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of Bacillus subtilis spores in different types of milk / J. Ansari, M. Ismail, M. Farid // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. - 2019. - Vol. 52. - P. 387–393.

67. Vásquez-Mazo, P. Development of a Novel Milk Processing to Produce Yogurt with Improved Quality / P. Vásquez-Mazo, A. G. Loredo, M. Ferrario, S. Guerrero // Food Bioprocess Technol. - 2019. - Vol. 12. - № 6. - P. 964–975.

68. Voronov, A. New Generation of Low Pressure Mercury Lamps for Producing Ozone / A. Voronov / Ozone: Science and Engineering. - 2008. - Vol. 30. - № 6. - P. 395–397.

69. Kim, H.J. Reynolds number effect on the fluid flow and heat transfer around a harbor seal vibrissa shaped cylinder / H. Ju Kim, H. Yoon // Int. J. Heat Mass Transf. - 2018. - Vol. 126. - P. 618–638.

70. Sohankar, A. Control of fluid flow and heat transfer around a square cylinder by uniform suction and blowing at low Reynolds numbers / A. Sohankar, M. Khodadadi, E. Rangraz // Comput. Fluids. - 2015. - Vol. 109. - P. 155–167.

71. Зарянкин, А.Е. Механическая модель перехода от ламинарного к турбулентному течению и генерации турбулентности в пограничном слое /

А.Е. Зарянкин, А.Н. Рогалев // Современные тенденции развития науки и технологий. - 2015. – № 5-1. – С. 6-13.

72. Лукашев, Е.А. О проблемах ламинарно-турбулентного перехода // Доклады Академии наук / Е. А. Лукашев, Н. Н. Яковлев, Е. В. Радкевич, О. А. Васильева // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 471. – № 3. – С. 270-274.

73. Хатунцева, О.Н. О нахождении критического числа Рейнольдса ламинарно-турбулентного перехода в задаче Хагена-Пуазейля // Труды МАИ. – 2018. – №. 101. – С. 7-7.

74. Капитанская, М. А. Математическое моделирование ламинарного и турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах эллиптического поперечного сечения / М. А. Капитанская // Устойчивое развитие науки и образования. – 2019. – № 6. – С. 155-163

75. Cilliers, F.P. A microbiological, biochemical and sensory characterisation of bovine milk treated by heat and ultraviolet (UV) light for manufacturing Cheddar cheese / F. P. Cilliers, P. Gouws, T. Koutchma, Y. Engelbrecht, Craig Adriaanse, P. Swart // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. - 2014. - Vol. 23. - P. 94–106.

76. Белорусский продовольственный торгово-промышленный портал [элктронный ресурс]. Режим доступа: https://produkt.by/story/efsa-podtverzhdaet-bezopasnost-moloka-obrabotannogo-ultrafioletom? (дата обращения: 25.05.2021).

77. Mansouri, D. IL-2-Inducible T-Cell Kinase Deficiency with Pulmonary Manifestations due to Disseminated Epstein-Barr Virus Infection / D. Mansouri, S. Mahdaviani, S. Khalilzadeh, S. Mohajerani, M. Hasanzad, S. Sadr, S. Nadji, S. Karimi, A. Droodinia, N. Rezaei, R. M. Linka, K. Bienemann, A. Borkhardt, M. Masjedi, A. Velayati // Int. Arch. Allergy Immunol. - 2012. - Vol. 158. - № 4. P. 418–422.

78. Bullerman, L.B. Stability of mycotoxins during food processing / L. Bullerman, A. Bianchini // Int. J. Food Microbiol. - 2007. - Vol. 119. - № 1–2. - P. 140–146.

79. Khoori, E. Effect of ozonation, UV light radiation, and pulsed electric field processes on the reduction of total aflatoxin and aflatoxin M1 in acidophilus milk / E. Khoori, V. Hakimzadeh, A. Mohammadi Sani, H. Rashidi // J. Food Process. Preserv.- 2020. - Vol. 44. - № 10. - P. 2411-2502.

80. Blázquez, E. Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma / E. Blázquez, C. Rodríguez, J. Ródenas, N. Navarro, C. Riquelme, R. Rosell, J. Campbell, J. Crenshaw, J. Segalés, J. Pujols, J. Polo // PLoS One. - 2019. - Vol. 14. - № 2. P. 1-17.

81. Alberini, F. Validation of hydrodynamic and microbial inactivation models for UV-C treatment of milk in a swirl-tube 'SurePure Turbulator™'/ F. Alberini, M. Simmons, D. J. Parker, T. Koutchma // J. Food Eng. - 2015. - Vol. 162. - P. 63–69.

82. Kaya, Z. Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system / Zehra Kaya, S. Unluturk // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. - 2016. - Vol. 33. - P. 282–288.

83. Blázquez, E. UV-C irradiation is able to inactivate pathogens found in commercially collected porcine plasma as demonstrated by swine bioassay / E. Blázquez, C. Rodríguez, J. Ródenas, N. Navarro, R. Rosell, S. Pina-Pedrero, J.M. Campbell, M. Sibila, J. Segalés, J. Pujols, J. Polo // Vet. Microbiol. - 2019. - Vol. 239. - P. 108450.

84. Monyethabeng, M.M. The effect of UV-C treatment on various spoilage microorganisms inoculated into Rooibos iced tea / M. M. Monyethabeng, M. Krügel // LWT- Food Science and Technology. - 2016. - Vol. 73. - P. 419–424.

85. Pisanello D., Caruso G. Novel Foods in the European Union. Cham: Springer International Publishing, 2018.

86. Louis Bresson, J. Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97 EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA)

Panel members / J. Louis Bresson, B. Burlingame, T. Dean, S. Fairweather-Tait, M. Heinonen, K. I. Hirsch-Ernst, I. Mangelsdorf, H. McArdle, A. Naska, M. Neuhäuser-Berthold, G. Nowicka, K. Pentieva, Y. Sanz, A. Siani, A. Sjödin, Martin Stern, D. Tomé, D. Turck, H. Van Loveren, M. Vinceti and P. Willatts. // EFSA J. - 2016.- Vol. 14. - № 1. - P. 4370.

87. Koutchma T. Advances in UV-C Light Technology Improve Safety and Quality Attributes of Juices, Beverages, and Milk Products | Food Safety [Electronic resource]. 2019. URL: https://www.food-safety.com/articles/6125-advances-in-uv-c-light-technology-improve-safety-and-quality-attributes-of-juices-beverages-and-milk-products (accessed: 25.05.2022).

88. Sommers, C.H., Cooke P.H. Inactivation of Avirulent Yersinia pestis in Butterfield's Phosphate Buffer and Frankfurters by UVC (254 nm) and Gamma Radiation / C. Sommers, P. Cooke // J. Food Prot. - 2009. - Vol. 72. - № 4. - P. 755–759.

89. Cappozzo, J.C. Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies / J. Cappozzo, T. Koutchma, G. Barnes // J. Dairy Sci. - 2015. - Vol. 98ю - № 8. - P. 5068–5079.

90. Федотова, О.Б. Исследование изменения структуры полиэтиленового слоя упаковки, контактирующего с пищевым продуктом при воздействии ультрафиолетового излучения / О.Б.Федотова, Н.С. Пряничникова // Пищевые системы. - 2021. - Т. 4ю - № 1. - С. 56–61.

91. Chughtai M.F.J. et al. Role of pascalization in milk processing and preservation: A potential alternative towards sustainable food processing // Photonics. 2021. Vol. 8, № 11.

92. Gunter-Ward, D.M. Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in reducing foodborne pathogens and model viruses in skim milk / D. M. Gunter-Ward, A. Patras, M.t Bhullar, A. Kilonzo-Nthenge, B. Pokharel, M. Sasges // J. Food Process. Preserv.

- 2018. - Vol. 42. - № 2.- P. 1-12

93. Yin, F. Inactivation and potential reactivation of pathogenic Escherichia coli O157:H7 in bovine milk exposed to three monochromatic ultraviolet UVC lights / F. Yin, Yan Zhu, T. Koutchma, J. Gong // Food Microbiol. - 2015. - Vol. 49. - P. 74–81.

94. dos Anjos, C.. Inactivation of milk-borne pathogens by blue light exposure / C. dos Anjos, F. P. Sellera, L. M. de Freitas, R. G. Gargano, E. O. Telles, R. Freitas, M. Baptista, M. Ribeiro, N. Lincopan, F. C. Pogliani, C. Sabino// J. Dairy Sci. - 2020. - Vol. 103. - № 2. - P. 1261–1268.

95. Prasad, A. et al. Applications of Light-Emitting Diodes (LEDs) in Food Processing and Water Treatment / A. Prasad, L. Du, M. Zubair, S. Subedi, A. Ullah, M. Roopesh // Food Eng. Rev. - 2020. - Vol. 12. - № 3. - P. 268–289.

96. Bandla, S. Impact of UV-C processing of raw cow milk treated in a continuous flow coiled tube ultraviolet reactor / S. Bandla, R. Choudhary, D. Watson, J. Haddock // Agric. Eng. - 2012. - Vol. 14. - № 2. - P. 86–93.

97. Koutchma, T. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods / T. Koutchma // Food Bioprocess Technol. - 2009. - Vol. 2. - № 2. - P. 138–155.

98. Rossitto, P. V. et al. Effects of UV Irradiation in a Continuous Turbulent Flow UV Reactor on Microbiological and Sensory Characteristics of Cow's Milk / P. Rossitto, J. Cullor, J. Crook, J. Parko, P. Sechi, B. Cenci-Goga // J. Food Prot. -, 2012. - Vol. 75. - № 12. - P. 2197–2207.

99. Байрамов, Т.Х. Изучение перспективных методов пастеризации молока для фермерского хозяйства / Т.Х. Байрамов, Г.Б. Мамедов // Аграрный научный журнал. - 2020. - № 6. - С. 76–80.

100. Krishnamurthy, K. Inactivation of Staphylococcus aureus in Milk Using Flow-Through Pulsed UV-Light Treatment System / K. Krishnamurthy, A. Demirci, J.

Irudayaraj // J. Food Sci. - 2007. - Vol. 72. - № 7. P. 233–239.

101. Matak, K.E. Effects of Ultraviolet Irradiation on Chemical and Sensory Properties of Goat Milk / K. E. Matak, S. S. Sumner, S. E. Duncan, E. Hovingh, R. W. Worobo, C. R. Hackney, M. D. Pierson // J. Dairy Sci. - 2007. - Vol. 90. - № 7. - P. 3178–3186.

102. Ward, D.M. et al. UV-C treatment on the safety of skim milk: Effect on microbial inactivation and cytotoxicity evaluation / D. M. Ward, A. Patras, A. Kilonzo-Nthenge, S. Yannam, Che Pan, Hang Xiao, M. Sasges // J. Food Process Eng. - 2019. - Vol. 42. - № 4. - P. 1-10.

103. Choudhary, R. Performance of coiled tube ultraviolet reactors to inactivate Escherichia coli W1485 and Bacillus cereus endospores in raw cow milk and commercially processed skimmed cow milk / R. Choudhary, S. Bandla, D. Watson, J. Haddock, A. AbuGhazaleh, B. Bhattacharya // J. Food Eng. - 2011. - Vol. 107. - № 1. - P. 14–20.

104. Makarapong, D. Development of an innovative apparatus using UV-C for controlling the number of microorganisms in raw milk after milking / D. Makarapong, S. Tantayanon, C. Gowanit, C. Inchaisri // Int. J. Dairy Technol. - 2020. - Vol. 73. - № 1. - P. 301–305.

105. Keklik, N.M. Inactivation of Staphylococcus aureus and Escherichia coli O157:H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light / N. M. Keklik, A. Elik, U. Salgın, A. Demirci, Gamze Koçer // Food Sci. Technol. - 2019. - Vol. 25. - № 8. - P. 680–691.

106. Lacivita, V. Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese / V. Lacivita, A. Conte, L. Manzocco, S. Plazzotta, V. Zambrini, Matteo Alessandro Del Nobile, M. Nicoli // Innov. Food Sci. Emerg. - 2016. - Vol. 36. - P. 150–155.

107. Ricciardi, E.F. Novel Technologies for Preserving Ricotta Cheese: Effects of Ultraviolet and Near-Ultraviolet-Visible Light / E. F. Ricciardi, S. Pedros-Garrido,

K. Papoutsis, J.s G. Lyng, A. Conte, M. A. Del Nobile // Foods. - 2020. - Vol. 9. - P. 580.

108. Юрова, Е.А. Идентификация молока-сырья подтверждение соответствия требованиям ТР ТС 033/2013 / Е.А. Юрова // Молочная промышленность. - 2017. - № 1. - С. 16–18.

109. Горбатова, К. К. Биохимия молока и молочных продуктов : учебник для студентов среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 260303.52 "Технология молока и молочных продуктов" / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова ; К. К. Горбатова, П. И. Гунькова. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2010.

110. Юрова, Е.А. Особенность контроля молочной продукции по показателям качества и безопасности / Е.А. Юрова // Переработка молока. - 2019. - № 4. - С. 6–9.

111. Юрова, Е.А. Стандартизация методик измерений показателей качества и безопасности молока и продуктов его переработки / Е.А. Юрова, Т.В. Кобзева, С.А. Фильчакова // Переработка молока. - 2019. - № 11. - С. 6–11.

112. Singh, P.K., Huppertz T. Effect of nonthermal processing on milk protein interactions and functionality / P. Singh, T. Huppertz // Milk Proteins: From Expression to Food. - 2020. - P. 293–324.

113. Koca N., Urgu M., Saatli T.E. Ultraviolet Light Applications in Dairy Processing // Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing. InTech, 2018.

114. Юрова, Е.А. Особенность разработки экспресс-методов определения сроков годности функциональных продуктов на молочной основе длительного хранения / Е.А. Юрова, Т.В. Кобзева, С.А. Фильчакова // Пищевая промышленность. - 2021. - № 3. - С. 36–39.

115. Юрова, Е.А. Применение методики ускоренного хранения для оценки сухих

молочных смесей функционального назначения / ЕА. Юрова, Т.В. Кобзева, С.А. Фильчакова // Пищевая промышленность. - 2021. - № 8. - С. 18–21.

116. Юрова, Е.А. Применение метода органолептической оценки при использовании методики ускоренного хранения / Е.А. Юрова, Т.В. Кобзева // Пищевая промышленность. - 2021. - № 8. - С. 15–17.

117. Brothersen, C. Comparison of milk oxidation by exposure to LED and fluorescent light / C. Brothersen, D. McMahon, J. Legako, S. Martini // J. Dairy Sci. - 2016. - Vol. 99. - № 4. - P. 2537–2544.

118. Шидловская, В.П. Антиоксидантная активность ферментов / В.П. Шидловская, Е.А. Юрова // Молочная промышленность. - 2011. - № 12. - С. 48–49.

119. Мамцев, А.Н. Изменение скорости реакции свободнорадикального окисления липидов на технологических этапах производства молока / А.Н. Мамцев, Е.Е. Пономарев // Вестник Башкирского университета. - 2009. - Vol. 14. - № 1. - С. 54–56.

120. Шидловская, В.П. Антиоксиданты молока их роль в оценке его качества / В.П. Шидловская, Е.А. Юрова // Молочная промышленность. - 2010. - № 2. - С. 24–26.

121. Добриян, Е. И. Антиоксидантная система молока / Е. И. Добриян // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – № 2(84). – С. 101-106

122. Koutchma T. Ultraviolet light in food technology: Principles and applications. 2nd Editio. CRC Press, 2019. 344 p.

123. Kehoe, J.J. Tryptophan-Mediated Denaturation of β-Lactoglobulin A by UV Irradiation / J. Kehoe, G. Remondetto, M. Subirade, E. Morris, A. Brodkorb // J. Agric. Food Chem. - 2008. - Vol. 56. - № 12. - P. 4720–4725.

124. Engin, B. Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-

active components of milk / B. Engin, Y. Karagul Yuceer // J. Sci. Food Agric. - 2012. - Vol. 92. - № 6. - P. 1245–1252.

125. Hu, G. Comparison of microbiological loads and physicochemical properties of raw milk treated with single-/multiple-cycle high hydrostatic pressure and ultraviolet-C light / G. Hu, Y. Zheng, D. Wang, B. Zha, Z. Liu, Y. Deng // High pressure research. - 2015. - Vol. 35. - № 3. - P. 330–338.

126. Pattison, D.I. Photo- oxidation of proteins / D. Pattison, A. Rahmanto, M. Davies // Photochem. Photobiol. Sci. - 2011. - Vol. 11. - № 1. - P. 38–53.

127. Schmid, M. UV radiation induced cross-linking of whey protein isolate-based films / M. Schmid, T. Prinz, K. Müller, A. Haas // Int. J. Polym. Sci. - 2017. - Vol. 2017. - P. 6.

128. Kuan, Y.H. Emulsifying and Foaming Properties of Ultraviolet-Irradiated Egg White Protein and Sodium Caseinate / Yau-Hoong Kuan, R. Bhat, A. Karim // J. Agric. Food Chem. - 2011. - Vol. 59. - № 8. - P. 4111–4118.

129. Scheidegger, D. Protein oxidative changes in whole and skim milk after ultraviolet or fluorescent light exposure / D. Scheidegger, R. P. Pécora, P. M. radici, S. Kivatinitz // J. Dairy Sci. - 2010. - Vol. 93. - № 11. - P. 5101–5109.

130. Siddique, M.A.B. Influence of pulsed light treatment on the aggregation of whey protein isolate / M. Siddique, P. Maresca, G. Pataro, G. Ferrari // Food Res. - 2017. Vol. 99. - Part 1. - P. 419–425.

131. Díaz, O. Effects of ultraviolet radiation on properties of films from whey protein concentrate treated before or after film formation / O. Díaz, Davinia Candia, Á. Cobos // Food Hydrocoll. - 2016. - Vol. 55. - P. 189–199.

132. Tammineedi, C.V.R.K. Determining the effect of UV-C, high intensity ultrasound and nonthermal atmospheric plasma treatments on reducing the allergenicity of α-casein and whey proteins / Chatrapati V. R. K. Tammineedi, Ruplal Choudhary, G. Pérez-Alvarado, D. Watson // LWT - Food Sci. Technol. - 2013. Vol. 54. - № 1. -

P. 35–41.

133. Hu, G. Structure and IgE-binding properties of α-casein treated by high hydrostatic pressure, UV-C, and far-IR radiations / G. Hu, Y. Zheng, Z. Liu, Y. Deng, Y. Zhao // Food Chem. - 2016. - Vol. 204. - P. 46–55.

134. Симоненко, Е.С. Разработка кисломолочного продукта на основе кобыльего молока и ассоциации молочнокислых микроорганизмов / Е.С. Симоненко, А.В. Бегунова // Вопросы питания. - 2021. - Т. 90. - № 5. - С. 115–125.

135. Шувариков, А.С. Качественные показатели коровьего, козьего и верблюжьего молока с учетом аллергенности / А.С. Шувариков, О.Н. Пастух, Е.А. Юрова // Фермер. Черноземье. - 2018. - № 9(18). - С. 20–25.

136. Харитонов В.Д., Пономарева Н.В., Мельникова, Е.И., Богданова Е.В. Низкоаллергенные молочные продукты // Издательство Профессия: Санкт-Петербург. 2019. С. 108.

137. Пономарева, Н.В. Концепция создания молочных продуктов со сниженной аллергенностью / Н. В. Пономарева, Е. И. Мельникова, В. Д. Харитонов, Е. В. Богданова // Экономика. Инновации. Управление качеством. - 2013. - № 4 (5). - С. 104–105.

138. Харитонов, В.Д. К вопросу о перспективных направлениях борьбы с аллергией / В.Д. Харитонов, В.Г. Будрик, Е.Ю. Агаркова, С.Г. Ботина, К.А. Березкина, А.Г. Кручинин, А.Н. Пономарев, Е.И. Мельникова // Техника и технология пищевых производств. - 2012. - № 4 (27). С. 3–6.

139. Головач, Т.Н. Аллергенность белков молока и пути ее снижения / Т.Н. Головач, В.П. Курченко // Труды БГУ. - 2010. -№ 5 (1). - С. 9–55.

140. Kobelkova, I. V. Glycation end products and technological aspects of reducing immunogenicity of specialized food products for nutrition of athletes / I. V. Kobelkova, M. M. Korosteleva, D. B. Nikityuk, M. S. Kobelkova // Food Syst. 2022. - Vol. 4. - № 4. - С. 278–285.

141. Huppertz, T. Novel Processing Technologies: Effects on Whey Protein Structure and Functionality / T. Huppertz, T. Vasiljevic, B. Zisu, H. Deeth // Whey Proteins: From Milk to Medicine. - 2019. - P. 281–334.

142. Cho, Y.S., Song K. Bin, Yamda K. Effect of ultraviolet irradiation on molecular properties and immunoglobulin production-regulating activity of β-lactoglobulin / Y.S Cho, K. Bin Song, K. Yamda // Food Sci. Biotechnol. - 2010. - Vol. 19. - № 3. - P. 595–602.

143. Забодалова Л.А., Белозерова М.С. // Инженерная реология: Учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. 41 с.

144. Sindayikengera, S. Nutritional evaluation of caseins and whey proteins and their hydrolysates from Protamex / S. Sindayikengera, W. Xia // J. Zhejiang Univ. Sci. B. - 2006. - Vol. 7. - № 2. - P. 90–98.

145. Schmid, M. Whey Protein-Based Packaging Films and Coatings / M. Schmid, K. Müller // Whey Proteins. - 2019. - P. 407–437.

## Список условных обозначений и сокращений

УФ облучение – ультрафиолетовое облучение

КСБ – концентрат сывороточных белков

ПСБ – полимеризованные сывороточные белки

ИСБ – изолят сывороточных белков

ИК – инфракрасная обработка

м.д. – массовая доля

МС – модельная система

КП – кисломолочный продукт

ВУС – влагоудерживающая способность

ПНС – предельное напряжение сдвига

Количество ММ – количество молочнокислых микроорганизмов

СТ – степень тиксотропности

СПη – степень потери вязкости

КМС – коэффициент механической стабильности

СОМ – сухое обезжиренное молоко

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» (ФГАНУ «ВНИМИ»)**

ОКПД2 10.51.52.190

Группа Н17
(ОКС 67.100.10)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГАНУ «ВНИМИ»
_____ А.Г. Галстян
«02» февраля 2022 г.

**ПРОДУКТ КИСЛОМОЛОЧНЫЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКА**
**ТУ 10.51.52-083-00419785-2022**

**Дата введения в действие** – 2022-02-02

РАЗРАБОТАНО
**ФГАНУ «ВНИМИ»**
Заместитель директора по научной работе
_____Н.С. Пряничникова
Старший научный сотрудник
_____Е.Ю. Агаркова
Младший научный сотрудник
_____ Н.Е. Шерстнева

Москва
2022

Приложение 2

**ООО «ЮЖСКИЙ МОЛОЧНЫЙ ЗАВОД»**
Россия. 155630 Ивановская обл., г. Южа, ул. Заводская, д. 5
ИНН 3706020685. Р/с 40702810617000003515 в отделении №8639 ОАО «Сбербанка России» г. Иваново
Тел./факс (49347) 2-36-25. E-mail: dubrava@dsn.ru

**Акт**

О внедрении научно-исследовательской работы

В рамках диссертационной работы по теме «Разработка технологии кисломолочного продукта с использованием модифицированного концентрата сывороточных белков» младшего научного сотрудника ФГАНУ «ВНИМИ» Шерстневой Н.Е. внедрены результаты научной деятельности.

15 февраля 2022 г. на ООО «Южский молочный завод» была выработана партия кисломолочного продукта с использованием концентрата сывороточных белков, модифицированных электромагнитным воздействием. При участии Шерстневой Н.Е. были адаптированы технологические параметры к производственным условиям: режимы ультрафиолетовой обработки, тепловой обработки, сквашивания.

Полученный продукт соответствовал требованиям, изложенным в ТУ 10.51.52-083-00419785-2022 «Продукт кисломолочный с повышенным содержанием белка».

Главный технолог
к.т.н. А.Ю. Белов

Приложение 3

# ДИПЛОМ

*участник конкурса*
*«Эстафета поколений 2014»*

*Шерстнева Наталья Евгеньевна*

работа
«Изучение влияния процессов воздействия ультрафиолетового излучения на белки животного и растительного происхождения»

Директор ФГБНУ «ВНИМИ» Д. В. Харитонов

Приложение 4

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Шерстнева Наталья Евгеньевна

лауреат конкурса на лучшую
научно-исследовательскую работу в рамках
X Международной научно-практической конференции
молодых учёных и специалистов
отделения сельскохозяйственных наук РАН
«СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ И ПЕРЕРАБОТКЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ — ГАРАНТИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ РОССИИ»

Начальник управления координации
и обеспечения деятельности организаций
в сфере сельскохозяйственных наук
ФАНО России
д. б. н., член-корреспондент РАН — В. А. Багиров

ФГБНУ «ВНИИМП им. В. М. Горбатова»
27 октября 2016 г.
Москва