На правах рукописи

Шерстнева Наталья Евгеньевна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных
продуктов и холодильных производств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»)

Научный руководитель:	Кандидат технических наук **Рязанцева Ксения Александровна**
Официальные оппоненты:	**Антипова Татьяна Алексеевна** доктор биологических наук, доцент НИИ детского питания (НИИ ДП) – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», отдел специализированных продуктов детского питания, главный научный сотрудник
	Ионова Инна Исааковна Кандидат технических наук, доцент Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств», кафедра технологии молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия, доцент
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»

Защита состоится «27» сентября 2022 г. в __ часов минут

на заседании диссертационного совета Д 006.021.02 при ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН по адресу: 109316, Москва, Талалихина, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН: www.vniimp.ru

Автореферат разослан «___»_____ 2022 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник А.Н. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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».

Научные положения, выносимые на защиту

- процессовое решение для УФ облучения молочного сырья в тонком слое потока;
- результаты исследований физико-химических и микробиологических показателей УФ облученных растворов КСБ;
- научно-обоснованные и практически установленные зависимости структурно-механических и физико-химических показателей сквашенных растворов КСБ и кисломолочных модельных систем от параметров работы УФ установки;
- установленные параметры УФ облучения раствора КСБ при внесении его в рецептуру кисломолочного продукта.
- наукоемкая технология продута кисломолочного, обогащенного модифицированным сывороточным белком

Степень достоверности и апробация результатов

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 41 рисунок, приложений 4. Список литературы включает 145 источников, из них 40 отечественных и 105 зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи диссертации, изложены научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ научно-технической литературы. Показано влияние ультрафиолетового облучения на микробиологические и физико-химические изменения молока и молочной сыворотки. Показано влияние УФ обработки на структуру сывороточных белков и их взаимодействия. Рассмотрены возможности применения УФ обработки, как вспомогательной технологической операции, для улучшения технологических свойств молока и растворов сывороточных белков. Проанализированы аспекты повышения качества кисломолочных продуктов в результате применения УФ обработки.

На основании литературных данных подтверждена актуальность выбранной темы диссертационной работы и необходимость разработки технологии кисломолочного продукта с повышенным содержанием сывороточных белков.

Во второй главе приведена организация работы, схема проведения исследований, описаны объекты и методы исследований, а также лабораторный стенд по УФ обработке.

Исследования проводились на базе лаборатории технологии молочно-белковых концентратов, пищевых добавок и продуктов на их основе Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), часть исследований проводили с привлечением сотрудников Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук» ФИЦ Биотехнологии РАН.

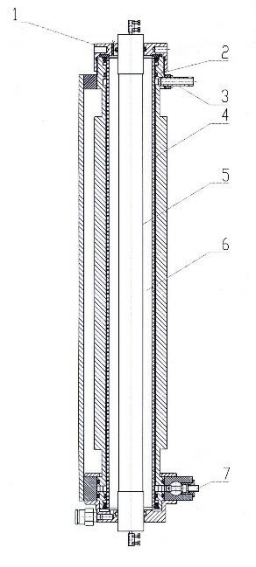
Объектами исследований являлись:

- концентрат сывороточных белков (КСБ) (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) %), содержание влаги (4,3%).

– обработанные ультрафиолетовым облучением растворы КСБ
– кисломолочные продукты

Конструкция УФ реактора проточного типа и расчет дозы УФ облучения

Пилотный УФ реактор (рис. 1), сконструированный в лаборатории технологии молочно-белковых концентратов ФГАНУ «ВНИМИ», состоит из перистальтического насоса и ультрафиолетового модуля, представляющего собой металлический цилиндр, внутри которого расположен цилиндр из кварцевого стекла с бактерицидной лампой, генерирующей ультрафиолетовое излучение с пиковой длиной волны 254 нм.



Параметры УФ лампы:

✓ 21 Вт –мощность лампы, выходной поток УФ излучения 7,3 Вт, длина волны УФ излучения-254 нм

Параметры установки:

✓ Высота ячейки 35,6 см;
✓ Зазор для потока молочного сырья 400 мкм;
✓ Объем зазора для обрабатываемого сырья 13,15 мл

Параметры работы:

✓ Скорость потока сырья – 6,67 мл/с
✓ Продолжительности пребывания продукта в реакторе за один проход – 1,9725 с
✓ Поверхностная доза УФ облучения за один проход

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

✓ Объемная доза УФ облучения за один проход

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

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

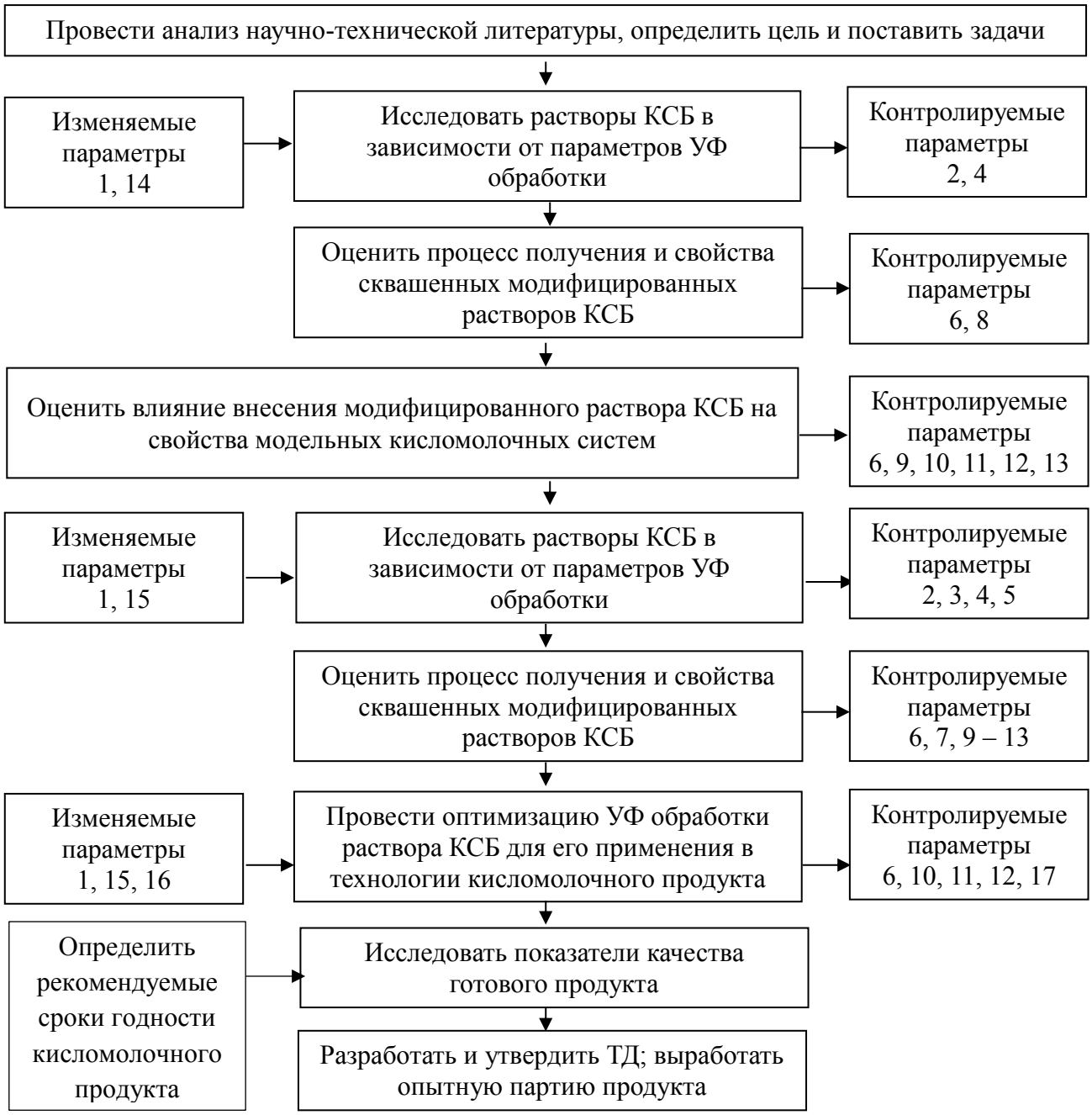
I – интенсивность УФ излучения, мДж/(с·см²); T - продолжительность удерживания продукта в реакторе за 1 проход, с; W – выходной поток УФ излучения, Дж/с; v – скорость потока, мл/с

Рисунок 1 – Общий вид и параметры работы УФ реактора проточного типа

Методы исследований

При проведении экспериментальной части исследований были использованы общепринятые микробиологические, физико-химические, математические, органолептический и др. методы. Определение влагоудерживающей способности оценивали по методу Vásquez-Mazo P. Определение растворимости белка оценивали методом Sindayikengera S. Структурно-механические характеристики определяли методом ротационной визкозиметрии на Rheotest -2. Показатели, характеризующие устойчивость структуры кисломолочного продукта к механическому воздействию, определяли по методу Забодаловой Л.А. Значения эффективной вязкости определяли на ротационном вискозиметре DV-II+Pro (фирма Brookfield, США). Оценку поверхностного натяжения растворов КСБ определяли на приборе KRUSS DSA25. Расчет предельного напряжения сдвига модельных кисломолочных систем осуществляли на основе полученных значений степени пенетрации на приборе пенетрометр PNR 10. Определение содержания β-лактоглобулина проводили с помощью хроматографической колонки ReproSil-Pur 300 ODS-3.5. Определение содержания свободных сульфгидрильных групп в растворах КСБ определяли спектрофотометрическим методом. Органолептические исследования осуществлялась согласно ГОСТ Р ISO 22935-2011. Углубленный анализ органолептических показателей экспериментальных партий кисломолочного продукта проводили с применением теста «дуо-трио» по ГОСТ ISO 10399-2015. Рекомендуемые сроки годности определяли в соответствии с МУК 4.2.1847.

Схема проведения исследований представлена на рисунке 2.



Принятые обозначения: 1 – м.д. белка раствора КСБ, 2 – содержание β-лактоглобулина в растворе КСБ, мг/мл, 3 – определение свободных SH-групп в растворе КСБ; 4 – растворимость белка раствора КСБ, 5 – поверхностное натяжение раствора КСБ; 6 – влагоудерживающая способность, 7 – степень синерезиса; 8 – эффективная вязкость, 9 – динамическая вязкость, 10 – предельное напряжение сдвига, 11 – степень тиксотропности, 12 – коэффициент механической стабильности, 13 – степень потери вязкости; дозы УФ облучения: 14 – широкий диапазон доз 37, 74, 111, 148, 185 Дж/мл; 15 – узкий диапазон доз: 15, 30, 45 Дж/мл; 16 – доза внесения раствора КСБ в рецептуру продукта; 17 – количество молочнокислых микроорганизмов.

Рисунок 2 – Схема проведения исследований

В ходе проведения исследований для получения объективных результатов все экспериментальные данные были получены с 3-10 кратной повторностью. Обработку массивов экспериментальных данных проводили при помощи прикладных сервисных программ Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 10.

В третьей главе приведены результаты исследований и их обсуждение.

Оценка воздействия УФ облучения на физико-химические показатели растворов концентрата сывороточных белков

Проведено восстановление концентрата сывороточных белков ((40±2) ºС; 30 мин) до массовой доли белка 3,0; 5,0 и 7,0 %. 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 полученных образцах оценивали растворимость белка (рис. 3) и содержание β-лактоглобулина (рис. 4).

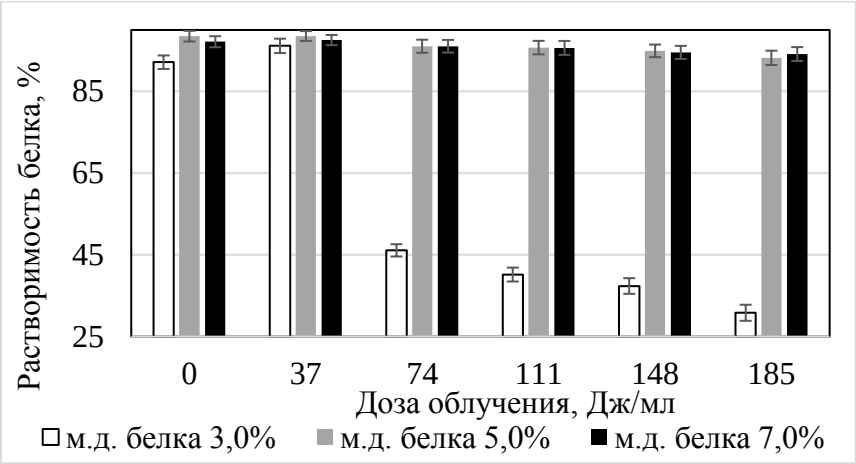


Рисунок 3 – Профиль растворимости исследуемых растворов КСБ

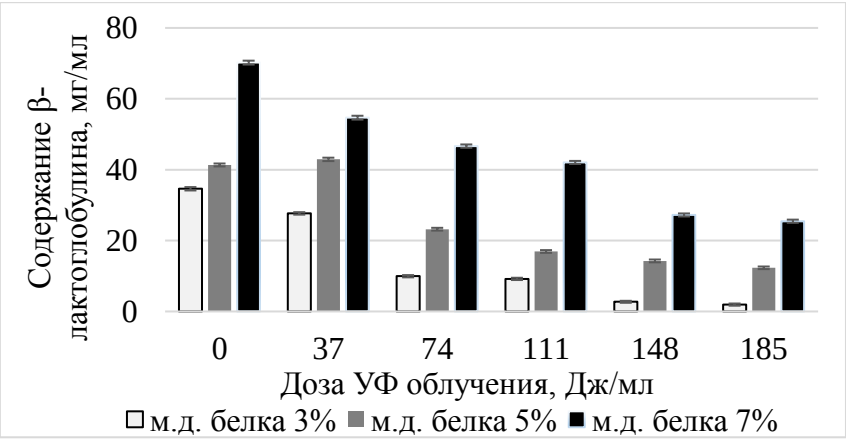


Рисунок 4 – Зависимость содержания β-лактоглобулина от дозы УФ облучения

Растворимость белка и содержание β-лактоглобулина снижались с возрастанием дозы УФ облучения. Наибольший эффект наблюдался в образцах с м.д. белка 3%. Подобные изменения, гипотетически, можно объяснить процессом денатурации и агрегации сывороточных белков, что является косвенным доказательством инициирования процесса полимеризации белковых структур.

Оценка влияния УФ облучения на процесс сквашивания раствора концентрата сывороточных белков

Поскольку наибольшее воздействие УФ обработка оказала на раствор КСБ с массовой долей белка 3,0%, на втором этапе исследований с целью оценки принципиальной возможности применения УФ обработки для улучшения консистенции кисломолочных продуктов полученные растворы КСБ с различной дозой УФ облучения сквашивали при 37 ºС до значения активной кислотности 4,7 ед. pH. Для сквашивания была использована производственная бактериальная закваска АТС (ТУ 9229-369-00419785-04), 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%. С увеличением дозы УФ облучения продолжительность нарастания кислотности возрастала (таблица 1).

Таблица 1 – Исследуемые параметры сквашенных УФ обработанных растворов КСБ

№ образца	Объемная доза УФ облучения, Дж/мл	Продолжительность сквашивания, мин	ВУС, %	Эффективная вязкость, Па·с
1 (контроль)	0	180±4	9,00±0,69	0,003±0,00073
2	37	190±4	86,98±0,38	0,25±0,023
3	74	192±4	89,26±0,54	0,54±0,034
4	111	230±4	90,46±0,42	1,37±0,06
5	148	250±4	90,90±0,62	2,17±0,1
6	185	216±4	86,98±0,55	1,96±0,06

Максимальная длительность сквашивания (250±4) мин была установлена в образце с дозой облучения 148 Дж/мл. При наибольшей из выбранных в ходе исследования дозе УФ облучения 185 Дж/мл наблюдалось сокращение продолжительности сквашивания до (216±4) мин. Это могло произойти вследствие необратимых окислительных процессов, происходящих в молекулах сывороточных белков.

УФ облучение способствовало резкому возрастанию значений ВУС и эффективной вязкости сквашенных образцов растворов КСБ (таблица 1). Была установлена доза облучения раствора КСБ 148 Дж/мл, при которой в продукте достигаются высокие показатели эффективной вязкости: (2,17±0,1) Па· с (таблица 1). Анализ профилограммы (рис. 5) показал, что с увеличением дозы УФ облучения в продуктах ослабевал кисломолочный и усиливается посторонний запах.

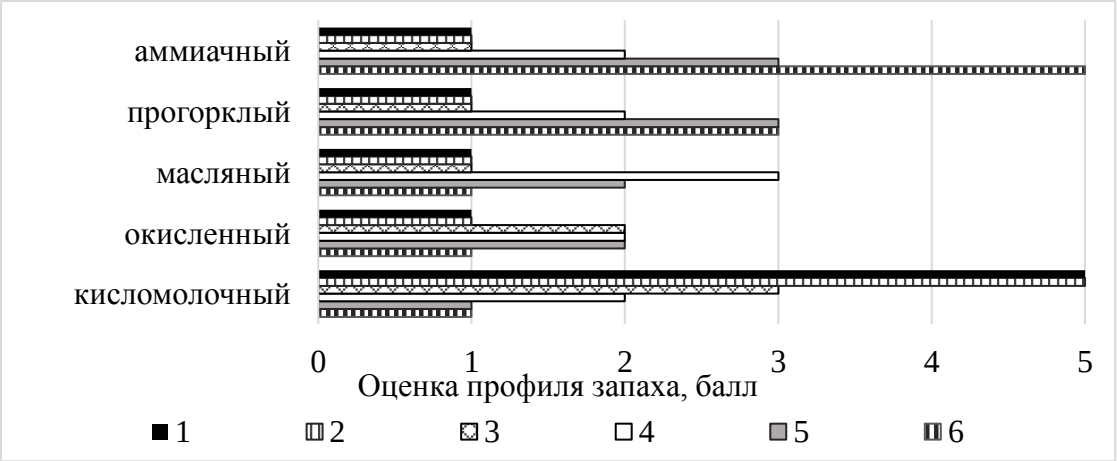


Рисунок 5 – Профиль запаха исследуемых образцов сквашенных растворов КСБ

При дозах облучения больше 111 Дж/мл (обр. 4) к окисленному запаху начинал примешиваться аммиачный. При минимальной исследуемой дозе облучения 37 Дж/мл (обр. 2) запах продукта характеризовался кисломолочным без других признаков. Исходя из анализа профилограммы, дальнейшие исследования проводили с использованием раствора КСБ с массовой долей белка 3,0% и дозой УФ облучения 37 Дж/мл.

Оценка влияния УФ обработанного раствора КСБ на свойства модельных кисломолочных систем

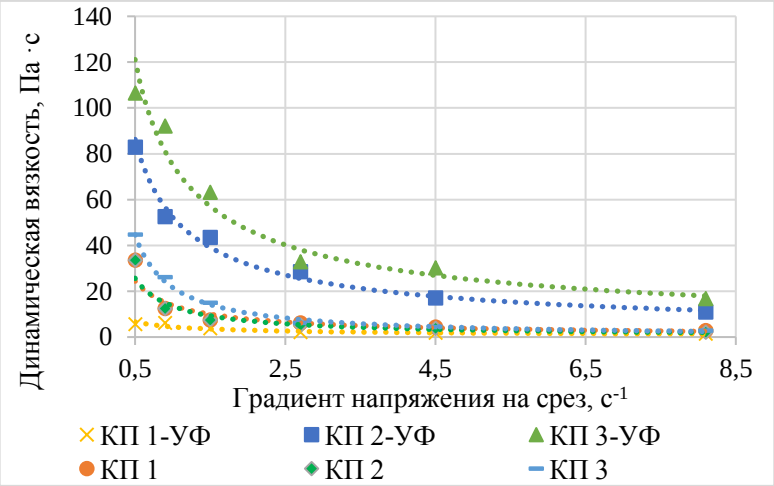
На третьем этапе исследований необходимо было оценить влияние внесения УФ обработанного раствора КСБ на свойства модельных кисломолочных систем. Раствор КСБ вносили в количестве 20,0; 40,0 и 60,0% (табл. 2). В качестве контрольных образцов выступали аналогичные смеси без УФ обработки. Полученные смеси после диспергирования 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.

Таблица 2 – Исследуемые параметры модельных кисломолочных систем

Модельные кисломолочные системы (МС)		Доза УФ облучения, Дж/мл	Доза внесения р-ра КСБ, %	СПη, %*	КМС*	СТ, %*
МС 1	КП 1	0	20	66,7	3,0	89
	КП 1-УФ	37		0,0	1,0	76
МС 2	КП 2	0	40	70	3,3	79
	КП 2-УФ	37		42,8	1,75	60
МС 3	КП 3	0	60	77,5	4,4	54
	КП 3-УФ	37		33,3	1,5	44

* СТ – степень тиксотропности; СПη – степень потери вязкости; КМС – коэффициент механической стабильности

Наибольшие показатели динамической вязкости соответствовали опытным образцам с содержанием КСБ 40 и 60% (рис. 6).



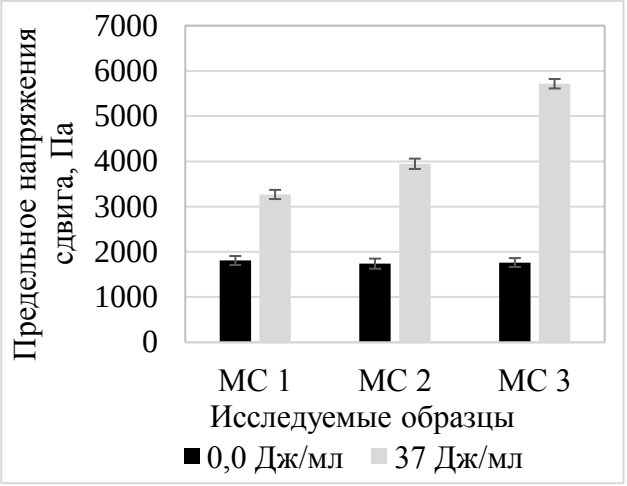
МС	Уравнение
КП 1	$y = 13{,}89x^{-0{,}819}$; $R^2 = 0{,}938$
КП 1-УФ	$y = 4{,}4519x^{-0{,}578}$; $R^2 = 0{,}9247$
КП 2	$y = 13{,}501x^{-0{,}927}$; $R^2 = 0{,}9645$
КП 2-УФ	$y = 52{,}396x^{-0{,}719}$; $R^2 = 0{,}988$
КП 3	$y = 21{,}66x^{-1{,}043}$; $R^2 = 0{,}9881$
КП 3-УФ	$y = 75{,}361x^{-0{,}684}$; $R^2 = 0{,}9677$

Рисунок 6 – Зависимость изменения динамической вязкости от дозы УФ облучения и дозы внесения в продукт раствора КСБ в модельных кисломолочных системах

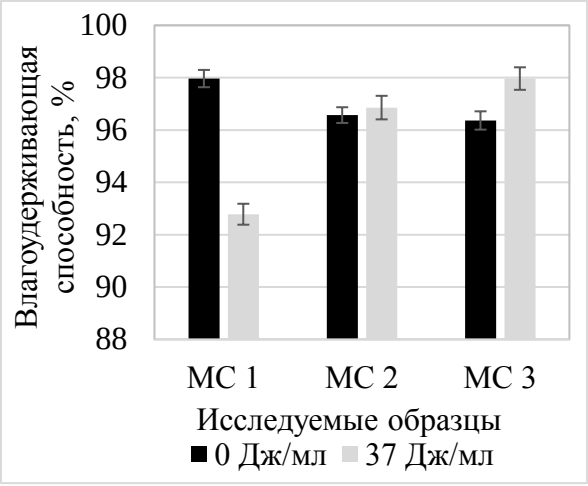
Показатели, характеризующие устойчивость структуры исследуемых МС к механическому воздействию, представлены в таблице 2. Наибольшей степенью потери вязкости (СПη) характеризовались контрольные образцы (табл. 2). В качестве количественного показателя устойчивости продукта к механическому разрушению оценивали коэффициент механической стабильности. Чем больше данный коэффициент стремится к 1, тем продукт характеризуется большей устойчивостью к разрушению. На данном этапе исследований наилучшие показатели КМС соответствовали опытным образцам, подвергнутым УФ облучению (табл. 2).

Показатели предельного напряжения сдвига (ПНС) (рис. 7 а) в контрольных образцах практически не изменялись. В то же время в опытных образцах возрастали показатели ПНС и ВУС (рис. 7 а, б). Анализируя совокупность полученных результатов можно охарактеризовать

тип структуры контрольных образцов как коагуляционную, поскольку она имеет высокую степень тиксотропности, но при обладает пониженной прочностью. Тип структуры опытных образцов кисломолочных систем можно охарактеризовать как конденсационно-кристализационные, поскольку с повышением дозы УФ облучения структура продукта необратимо разрушается в результате деформации, проявляя повышенную прочность, но имея упруго-хрупкие свойства из-за жесткости скелета структуры.



а)



б)

Рисунок 7 – Значения ПНС и ВУС модельных кисломолочных систем

Таким образом, поскольку УФ обработка при дозе 37 Дж/мл раствора КСБ показала улучшение структурно-механических характеристик кисломолочных МС, необходимо было провести дополнительное исследование влияния УФ обработки в более узком диапазоне доз облучения.

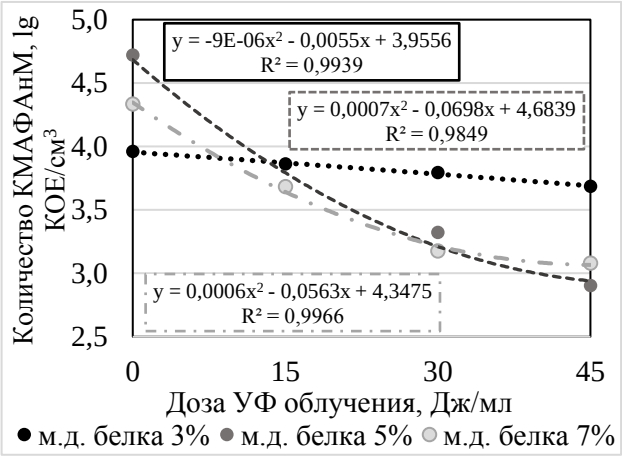
Изучение влияния узкого диапазона доз УФ облучения на физико-химические и микробиологические свойства растворов концентратов сывороточных белков

На четвертом этапе исследований восстановленные растворы КСБ с массовой долей белка 3,0; 5,0 и 7,0% были подвергнуты УФ обработке в расчетных дозах облучения 15; 30 и 45 Дж/мл (табл. 3). Контрольные образцы не подвергались облучению.

Таблица 3 – Физико-химические показатели растворов КСБ в узком диапазоне доз УФ облучения

Расчетная м.д. белка, %	Доза облучения, Дж/мл	Массовая доля общего белка, %	Содержание сухих веществ, %
3,0	0,0	3,30±0,12	3,85±0,4
	15,0	3,32±0,12	3,94±0,4
	30,0	3,31±0,12	4,03±0,4
	45,0	3,35±0,12	3,98±0,4
5,0	0,0	5,21±0,12	6,40±0,4
	15,0	5,13±0,12	6,28±0,4
	30,0	5,06±0,12	6,32±0,4
	45,0	5,08±0,12	6,30±0,4
7,0	0,0	7,46±0,12	8,91±0,4
	15,0	7,19±0,12	8,78±0,4
	30,0	7,07±0,12	8,71±0,4
	45,0	7,21±0,12	8,75±0,4

С возрастанием дозы УФ облучения снижалось содержание КМАФАнМ в растворах КСБ (рис. 8). Наиболее выраженный эффект снижения КМАФАнМ был достигнут в растворе



КСБ с м.д. белка 5%. При дозе УФ облучения 15 Дж/мл снизилось содержание β-лактоглобулина, оставаясь постоянным в исследуемом диапазоне (15 – 45 Дж/мл) (рис. 9 а). В результате УФ обработки увеличилось содержание свободных SH-групп, что свидетельствует о денатурации белковых молекул (рис. 9 б). Как видно из рисунка 10 а, 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 образования нерастворимых агрегатов.

Рисунок 8 – Содержание КМАФАнМ в растворах КСБ

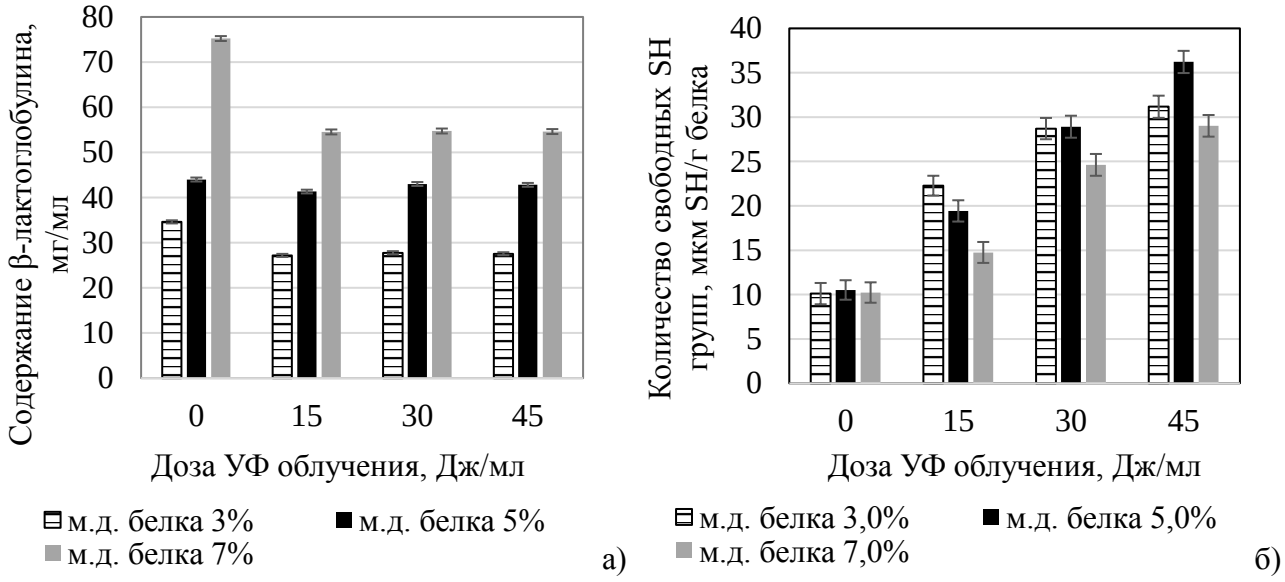


Рисунок 9 – Зависимость содержания β-лактоглобулина (а) и свободных SH-групп (б) от дозы УФ облучения

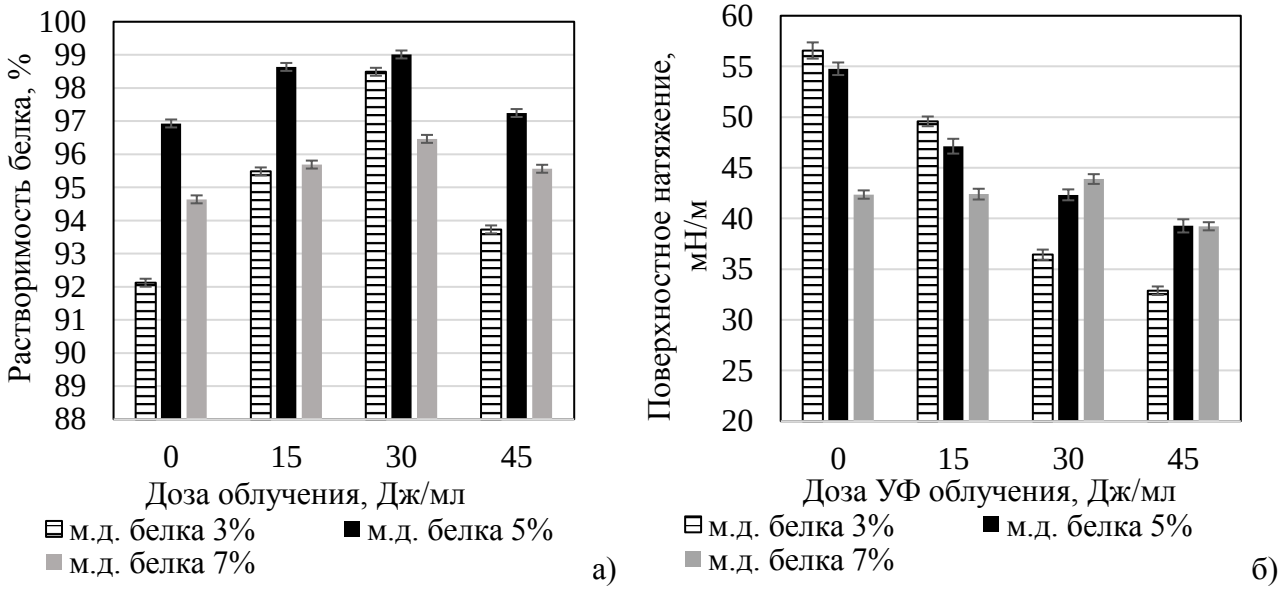


Рисунок 10 – Профиль растворимости белка (а) и поверхностное натяжение (б) растворов КСБ

Поверхностное натяжение исследуемых растворов КСБ с повышением доз УФ облучения последовательно снижалось для образцов с м.д. белка 3 и 5% (рис. 10 б). Это можно объяснить разворачиванием белковых молекул в результате УФ облучения и их последующей полимеризацией.

Исходя из полученных результатов исследований можно заключить, что УФ обработка в исследуемом диапазоне доз облучения влияет на структурные изменения сывороточных белков, инициируя полимеризацию белковых структур.

Оценка влияния УФ обработки в узком диапазоне доз облучения на процесс сквашивания растворов КСБ

На пятом этапе исследований с целью оценки принципиальной возможности применения УФ обработки для улучшения консистенции кисломолочных продуктов исследуемые растворы КСБ заквашивали аналогично второму этапу исследований (табл. 4).

Таблица 4 – Исследуемые параметры МС сквашенных образцов КСБ

№ образца	Доза облучения, Дж/мл	М.д. белка, %	Продолжительность сквашивания, мин	Степень синерезиса, %
7 (контроль)	0,0	3,0	180±4	-
8	15,0		180±4	8,0±0,5
9	30,0		200±4	6,0±0,5
10	45,0		210±4	0,0
11 (контроль)	0,0	5,0	190±4	-
12	15,0		190±4	4,0±0,5
13	30,0		220±4	0,0
14	45,0		260±4	0,0
15 (контроль)	0,0	7,0	200±4	-
16	15,0		200±4	4,0±0,5
17	30,0		250±4	0,0
18	45,0		280±4	0,0

В результате сквашивания в контрольных и образцах, подвергнутых дозе УФ облучения 15 Дж/мл, сгусток не сформировался. Образование плотного сгустка было зафиксировано в образцах, подвергнутых дозе УФ облучения 30 и 45 Дж/мл. Органолептическая оценка данных образцов представлена на рисунке 11.

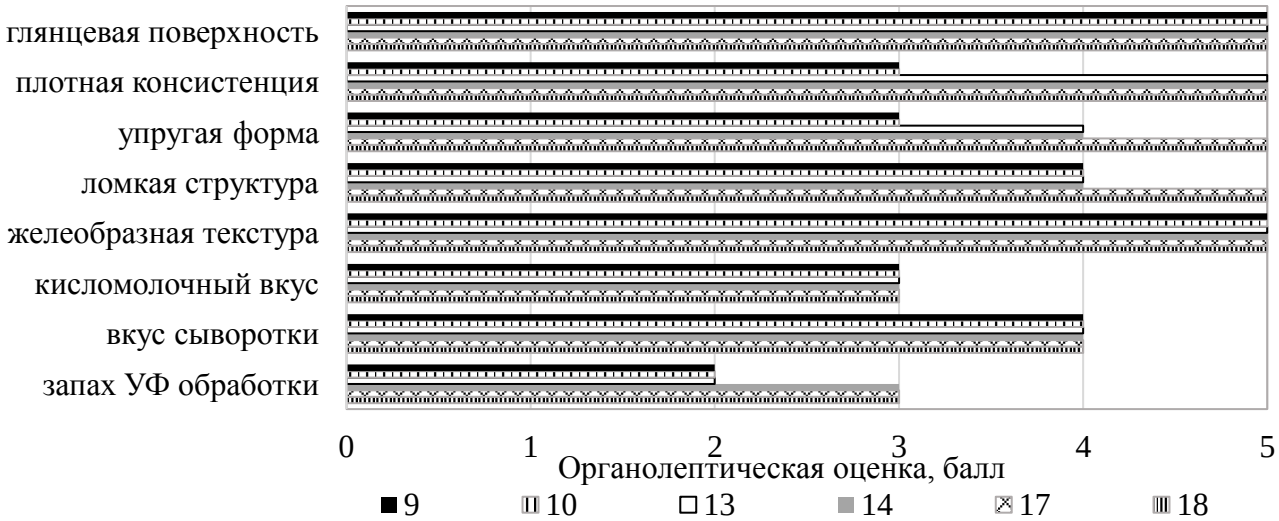


Рисунок 11 – Органолептическая оценка образцов сквашенных растворов КСБ, подвергнутых дозе УФ облучения 30 и 45 Дж/мл

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.

Во всех исследуемых образцах с возрастанием дозы УФ облучения последовательно снижалась степень синерезиса (таб. 4) и повышались значения влагоудерживающей способности (рис. 12). Полное отсутствие синерезиса было зафиксировано в образцах, подвергнутых дозе УФ облучения 30 и 45 Дж/мл. Показатели влагоудерживающей способности возрастали как с увеличением дозы УФ облучения, так и массовой доли белка.

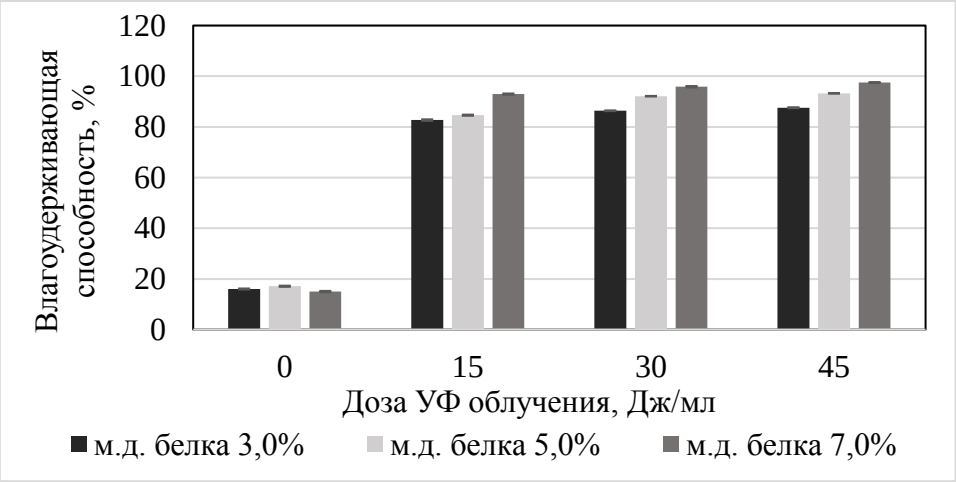


Рисунок 12 – Значения ВУС сквашенных растворов КСБ

Наибольшие значения динамической вязкости соответствовали образцам, подвергнутым дозе УФ облучения 45 Дж/мл (рис. 13).

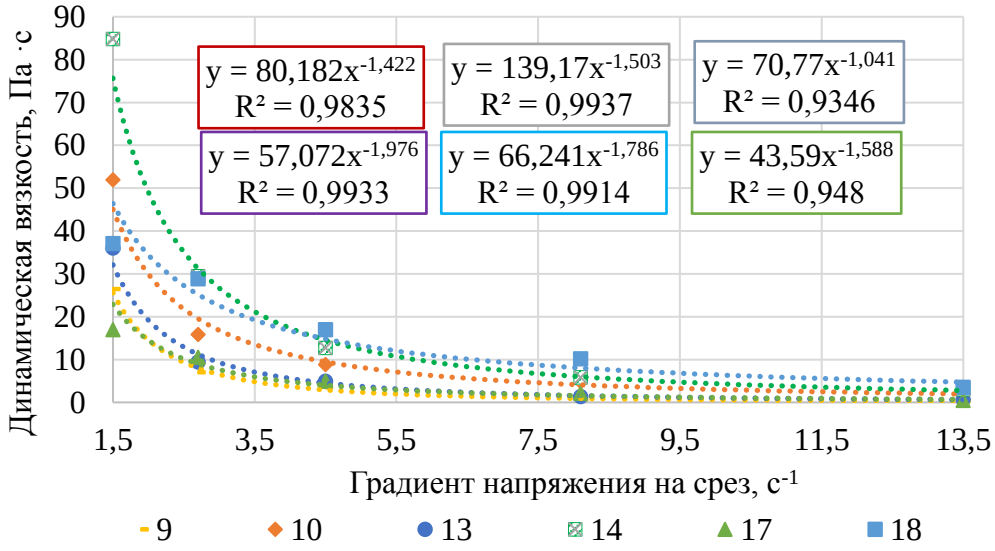


Рисунок 13 – Динамическая вязкость сквашенных модифицированных растворов КСБ

На основании улучшения исследуемых показателей сквашенных растворов КСБ на следующем этапе исследований была проведена оптимизация УФ обработки раствора КСБ для его использования в технологии кисломолочного продукта.

Оптимизация УФ 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 технологических и структурно-механических характеристик. Был разработан трехфакторный стандартный центральный композиционный план. 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 5). В качестве контролируемых параметров исследовались ВУС, ПНС, количество молочнокислых микроорганизмов (Количество ММ), СТ и КМС. В соответствии с композиционным планом было проведено 38 опытов с различным варьированием параметров.

Таблица 5 – Уровни вариации независимых параметров в трехфакторных экспериментах по оптимизации УФ обработки раствора КСБ

Вариабельные параметры	Переменная	Уровень варьирования		
		-1	0	1
Массовая доля белка раствора КСБ, %	X1	3,0	5,0	7,0
Доза облучения раствора КСБ, Дж/мл	X2	15	30	45
Доза внесения раствора КСБ, %	X3	20	40	60

Согласно результатам статистической оценки 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. 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. Наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на содержание молочнокислых микроорганизмов оказывают линейные факторы м.д. белка и дозы внесения раствора КСБ. Наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на СТ оказывают линейные факторы м.д. белка и дозы УФ облучения раствора КСБ. Наиболее значимое ($p<0,05$) влияние на КМС 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.

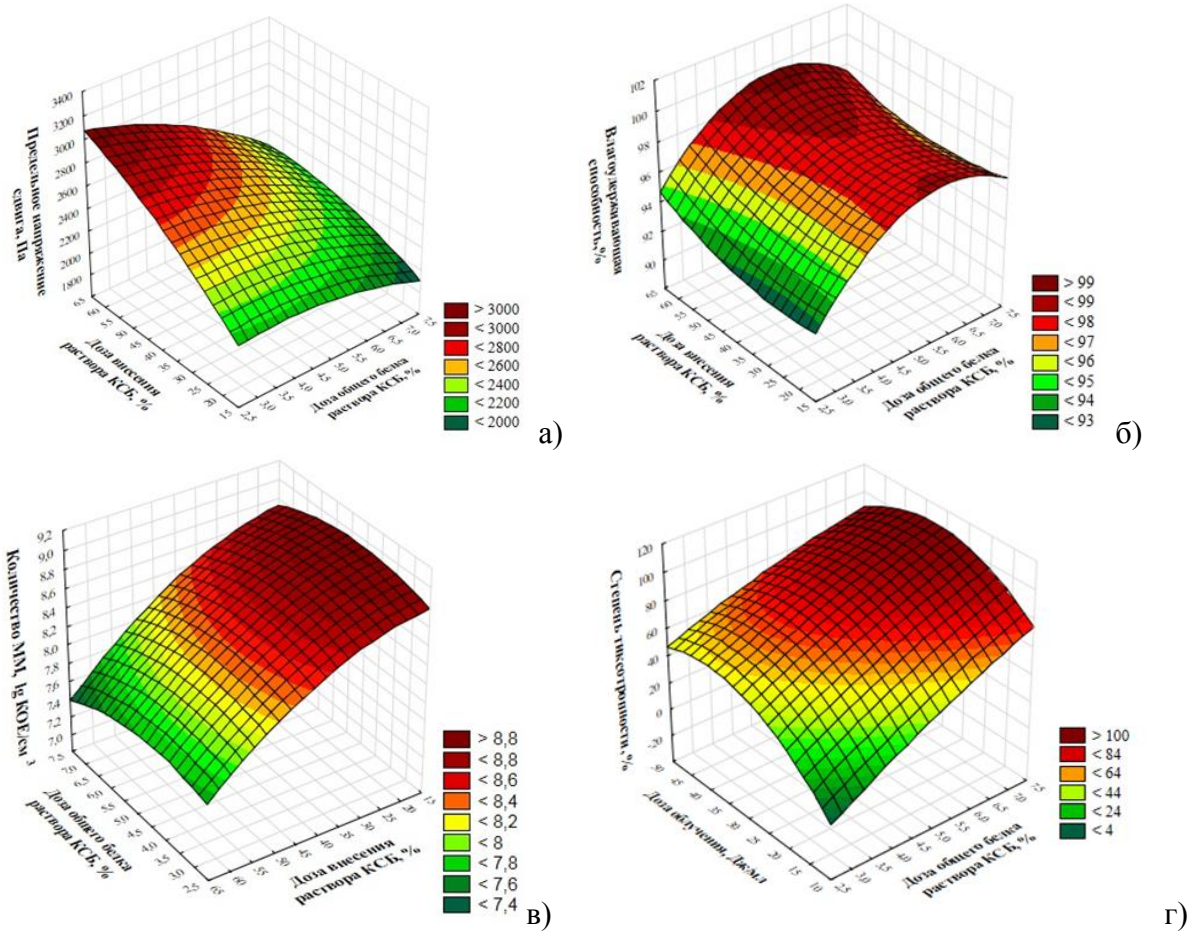
Данные по каждому из контролируемых параметров при трехфакторном эксперименте по оптимизации УФ обработки раствора КСБ были подвергнуты регрессионному анализу, в результате которого были получены уравнения, описывающее зависимость контролируемых факторов от вариабельных (таблица 6).

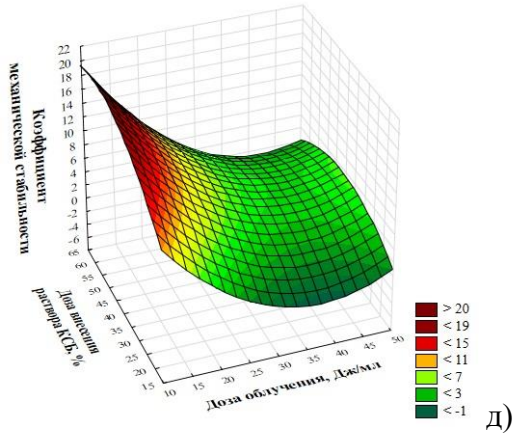
Таблица 6 – Уравнения регрессии

Контролируемый параметр	Уравнение регрессии
ПНС	$Y=2939,405+105,507*X_1–17,636*X_1^2–127,289*X_2+1,733*X_2^2+42,948*X_3–0,154*X_3^2+3,97*X_1*X_2-2,287*X_1*X_3–0,422*X_2*X_3$; $R^2=0,8378$
ВУС	$Y=86,6171+6,1604*X_1–0,5252*X_1^2 – 0,3093*X_2+0,0043*X_2^2 – 0,0785*X_3+0,0015*X_3^2+0,0004*X_1*X_2 – 0,0055*X_1*X_3 + 0,0006*X_2*X_3$; $R^2=0,6253$
Количество ММ	$Y=9,0834+0,3774*X_1– 0,0284*X_1^2 – 0,0718*X_2+0,0009*X_2^2–0,0068*X_3-0,0003*X_3^2–0,0062*X_1*X_2–0,0007*X_1*X_3+0,0011*X_2*X_3$; $R^2=0,6218$
СТ	$Y=92,6162–1,0343*X_1– 0,7191*X_1^2+4,8937*X_2 –0,0572*X_2^2–6,14037*X_3+0,0522 X_3^2–0,15*X_1*X_2+0,4031*X_1*X_3–0,0004*X_2*X_3$; $R^2=0,6919$
КМС	$Y=13,1173 – 0,4891*X_1 –0,0141*X_1^2–1,2727*X_2+0,0159*X_2^2 –0,8107*X_3–0,0059*X_3^2+0,0479*X_1*X_2–0,0416*X_1*X_3–0,0034*X_2*X_3$; $R^2=0,6922$

При варьировании параметров УФ обработки раствора КСБ показано возрастание ВУС при увеличении дозы УФ облучения и м.д. белка. Показано снижение предельного напряжения сдвига, количества молочнокислых микроорганизмов при увеличении дозы

внесения раствора КСБ и м.д. белка. Показано возрастание степени тиксотропности при увеличении дозы УФ облучения и дозы внесения раствора КСБ. Наиболее показательные зависимости контролируемых факторов от вариабельных представлены на рисунке 14.





Уравнения поверхностей отклика
а=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=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=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
г=84,88-0,801*x-0,72*x2+5,24*y-0,06*y^2-0,15*x*y+24,18*x-0,0258*y-180,52
д=11,52-1,28*x+0,016*x2+0,81*y-0,006*y2+0,144*x-0,15*y-0,003*x*y

Рисунок 14 – Зависимости контролируемых параметров кисломолочных продуктов от вариабельных: а) ПНС (15 Дж/мл); б) ВУС (30 Дж/мл); в) Количество ММ (15 Дж/мл); г) СТ (доза внесения 60%); д) КМС (м.д. белка раствора КСБ 3,0%)

С возрастанием дозы внесения раствора КСБ коэффициент механической стабильности повышается, однако с увеличением м.д. белка – снижается. Оптимальные значения условий УФ обработки раствора КСБ согласно профилям предсказанных значений и функции желательности для каждого из контролируемых факторов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Оптимальные значения условий УФ обработки раствора КСБ для каждого из контролируемых факторов

Вариабельные параметры	Оптимальные значения				
	ВУС, %	ПНС, Па	Количество ММ	СТ, %	КМС
М.д. белка раствора КСБ, %	6	3	5	7	3
Доза УФ облучения, Дж/мл	45	15	15	30	50
Доза внесения раствора КСБ, %	60	60	20	60	45

Для выбора оптимальных условий УФ обработки раствора КСБ были сопоставлены результаты трехфакторного эксперимента по различным из ключевых параметров и получены профили предсказанных значений и функции желательности (рис 15).

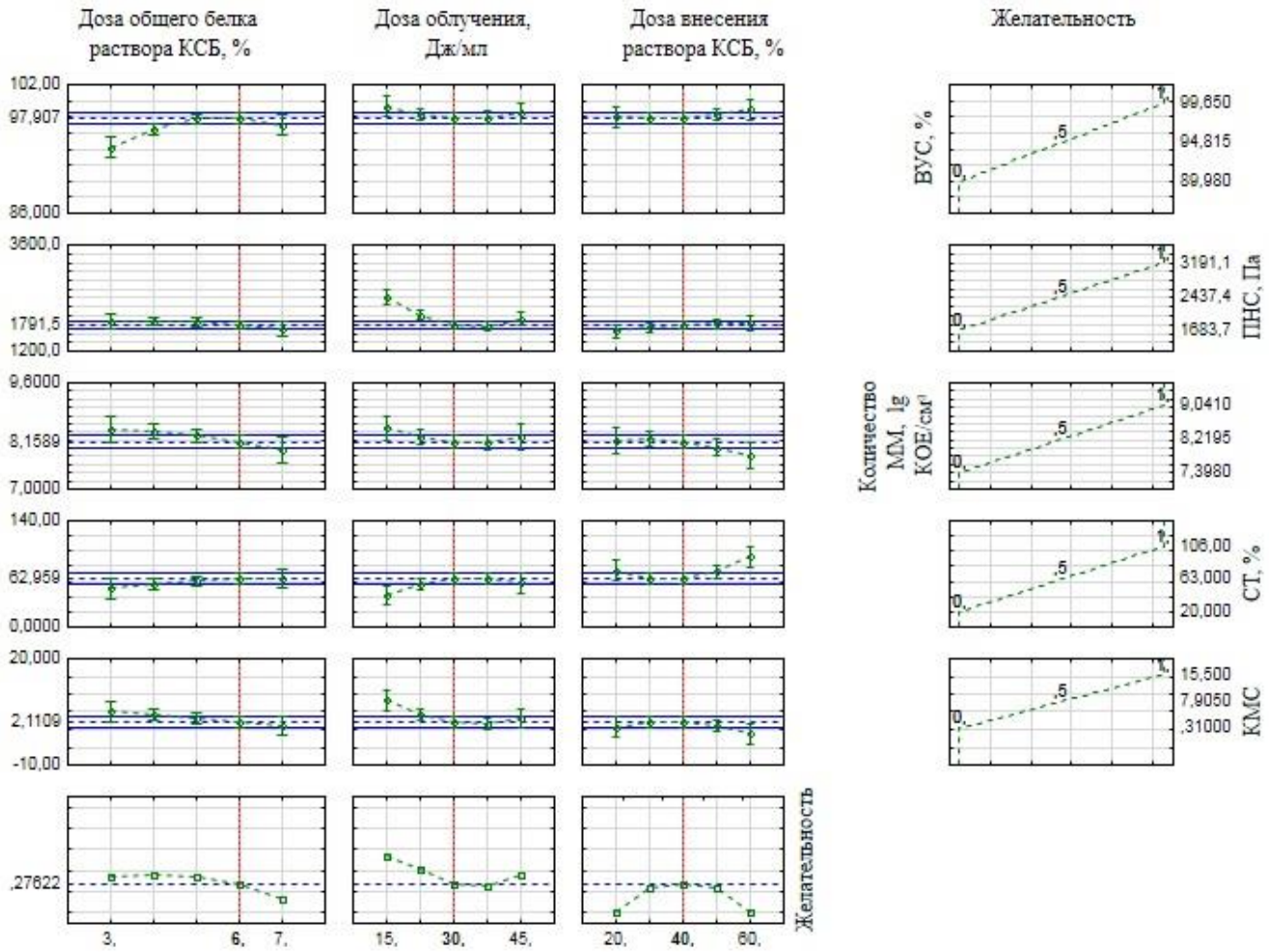


Рисунок 15 – Профили предсказанных значений и функции желательности для УФ обработки раствора КСБ

Согласно полученным данным (рис. 15), для оптимального проведения УФ обработки раствора КСБ доза внесения раствора должна составлять 40% при м.д. белка 6%, подвергнутого дозе УФ облучения 30 Дж/мл (табл. 8).

Таблица 8 – Профили предсказанных значений и функции желательности 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 его технологические, микробиологические и структурно-механические показатели.

В таблице 9 представлена рецептура, в таблице 10 – физико-химические показатели пректируемого продукта кисломолочного.

Таблица 9 – Рецептура проектируемого продукта кисломолочного

Наименование сырья	Количество, кг
Раствор КСБ	400,0
Молоко, 2,5%	570,0
Производственная закваска (*Lactobacillus acidophilus и Streptococcus thermophilus*)	30,0
Итого	1000,0

Таблица 10 – Физико-химические показатели проектируемого 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 16. 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 желееобразность и ломкость. Интенсивность запаха УФ обработки была слабо выражена, без проявления посторонних запахов.

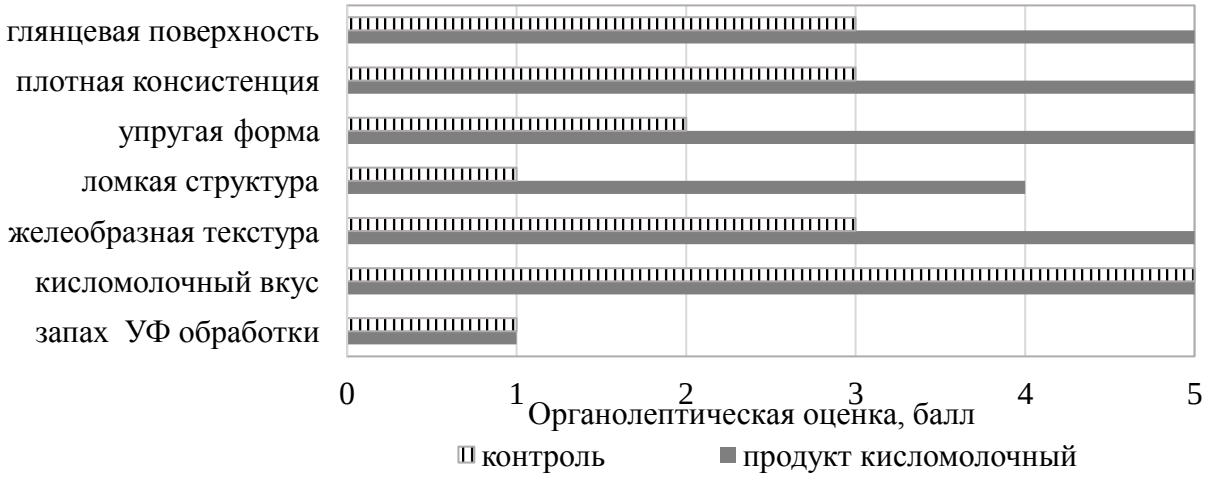
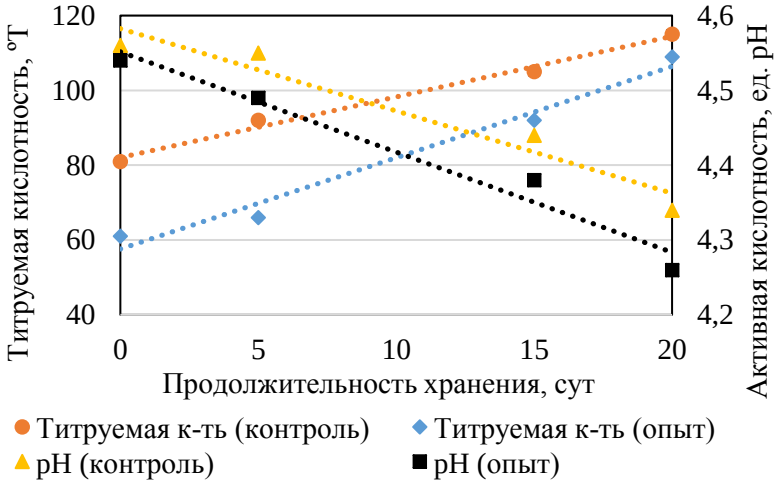


Рисунок 16 – Органолептическая оценка тестируемых образцов

Определение технологических и структурно-механических характеристик кисломолочного продукта в процессе хранения

Для определения рекомендуемого срока годности кисломолочного продукта были выработаны по три партии продукта и заложены на хранение при температуре (4 ± 2) °С на 20 суток (предполагаемый срок годности – 15 суток). Микробиологические показатели, готового продукта, в том числе количество ММ, соответствовали нормам, изложенным в ТР ТС 033/2013 на протяжении всего срока хранения (табл. 10).

В исследуемом образце кисломолочного продукта активная кислотность при хранении (рис. 17) в течение 20 суток снижалась с 4,54 до 4,26 ед. pH, в контроле – с 4,56 до 4,34 ед. pH.



Исследуемые параметры	**Уравнение**
Титруемая к-ть (контроль)	y = 1,6804x + 81,026; R^2 = 0,9831
Титруемая к-ть (опыт)	y = 2,5525x + 55,836; R^2 = 0,9852
pH (контроль)	y = -0,0115x + 4,5908; R^2 = 0,9519
pH (опыт)	y = -0,014x + 4,5609; R^2 = 0,9713

Рисунок 17 – Изменение кислотности кисломолочного продукта в процессе хранения

Таблица 11 – Изменение ММ

Прод-ть хранения, сутки	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	$1{,}36 \cdot 10^7$

Титруемая кислотность в процессе хранения возрастала и на 20 сутки составила 115 и 109 °Т для контрольного и опытного образца соответственно (рис. 16). Влагоудерживающая способность опытного образца сохранялась около 98% на всем исследуемом периоде хранения. Анализ структурно-механических характеристик показал, что в процессе хранения кисломолочный продукт обладал наилучшими по сравнению с контролем показателями устойчивости структуры (рис. 18). 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. 12).

Таблица 12 – Структурно-механические характеристики

Прод-ть 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

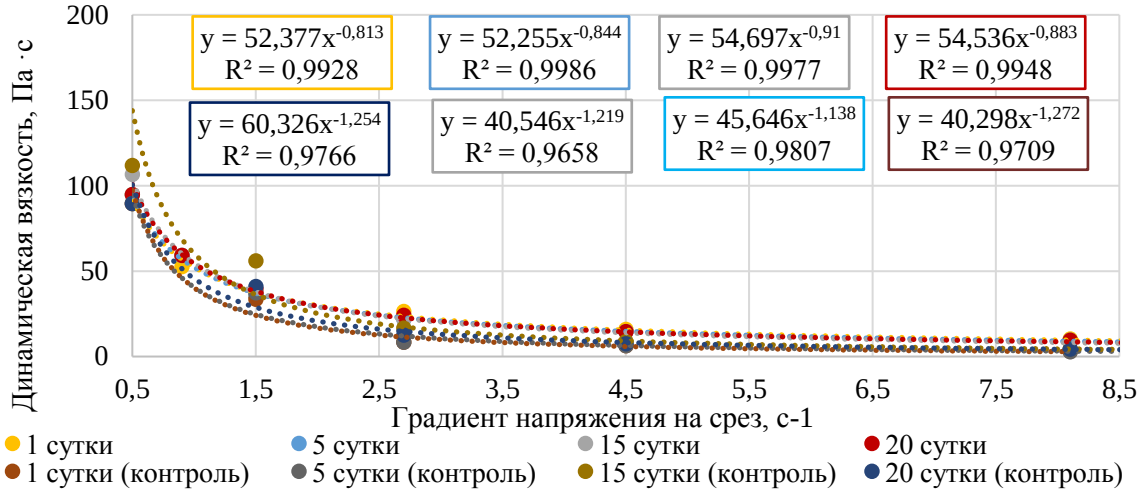


Рисунок 18 – Изменения динамической вязкости исследуемых образцов в процессе хранения

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

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 14. Нормируемые физико-химические показатели – в таблице 13. Принципиальная технологическая схема производства продукта кисломолочного с повышенным содержанием белка термостатным способом представлена на рисунке 19.

Таблица 13 – 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 14 – 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	$1 \cdot 10^7$

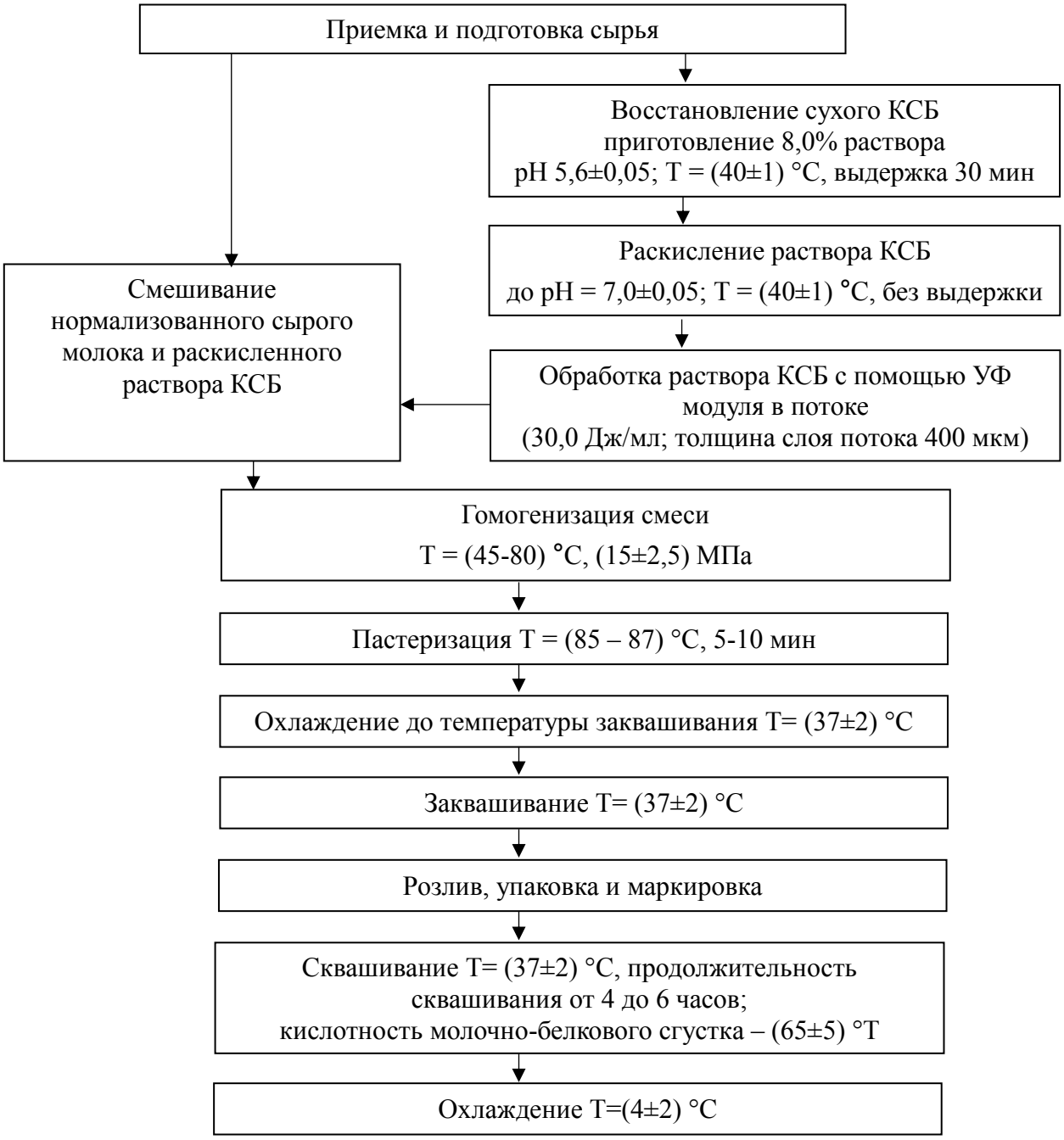


Рисунок 19 – Принципиальная технологическая схема производства продукта кисломолочного с повышенным содержанием белка термостатным способом

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

Основные результаты 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».

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Статьи, индексируемые в Web of Science и Scopus

1. Kharitonov, V.D. Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation / V.D. Kharitonov, N.E. Sherstneva, D.V. Kharitonov, E.A. Yurova, V.P. Kurchenko // Foods and raw materials. – 2019. – Vol. 7. – Iss.1, 2019. – P.161-167. DOI:10.21603/2308-4057-2019-1-161-167

Статьи в журналах, рецензируемых ВАК РФ

2. Рязанцевав, К.А. Прочностные характеристики пленок на основе сывороточных белков / К.А. Рязанцева, Е.Ю. Агаркова, Н.Е. Шерстнева, Д.М. Мяленко // Молочная промышленность. – 2022. – №3. – С. 47-49. DOI: 10.31515/1019-8946-2022-03-47-49
3. Рязанцева, К.А. Использование ультрафиолетовой обработки для улучшения консистенции ферментированных сывороточных напитков / К.А. Рязанцева, Н.Е. Шерстнева, Е.Ю. Агаркова // Молочная промышленность. -2022. №4. - С. 42-45. DOI: 10.31515/1019-8946-2022-04-42-45
4. Рязанцева, К.А. Исследование комплексного биокаталитического и ультрафильтрационного воздействия на белковый кластер молочной сыворотки при получении биопленок / К.А. Рязанцева, Н.Е. Шерстнева, Н.А. Жижин, Д.Н. Калугина // Пищевая промышленность. – 2021. – №8. – С. 61-63. DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.016
5. Рязанцева, К.А. Подходы к повышению термической стабильности сывороточных белков / К.А. Рязанцева, Н.Е. Шерстнева // Пищевая промышленность. - 2021. - №8. - С. 25-28. DOI: 10.52653/PPI.2021.8.8.006

Статьи в материалах конференций и журналах, индексируемых в РИНЦ

6. Шерстнева Н.Е. Влияние ультрафиолетового облучения на технологические свойства йогурта / Н.Е. Шерстнева // Шерстнева Н.Е. Влияние ультрафиолетового облучения на технологические свойства йогурта / Н.Е. Шерстнева // Пища. Экология. Качество: тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. (Краснообск, 18–19 ноября 2021 г.) / Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук; сост.: Ницевская К.Н. [под ред. д.т.н. Мотовилова О.К., д.б.н., чл.-корр. РАН, профессора Мотовилова К.Я.]. – Краснообск, 2021 – С. 712-715.
7. Шерстнева Н.Е. Исследование обеззараживания сырого молока ультрафиолетовым облучением / Н.Е. Шерстнева //Международная неделя в Угличе: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства / ВНИИМС - филиал ФГБУН "ФНЦ пищевых систем В.М. Горбатова" РАН, 2021. – Углич, 2021. – С. 354-356.
8. Шерстнева, Н.Е. Применение процесса ультрафиолетовой обработки для инактивации патогенных микроорганизмов в молоке / Н.Е. Шерстнева // сборник научных трудов / Федеральное агентство науч. орг., Федеральное гос. бюджетное науч. учреждение Всероссийский науч.-исслед. ин-т молочной пром-сти (ФГБНУ "ВНИМИ"); под общ. ред. Д. В. Харитонова. - Москва: Франтера, 2016. – С. 252-258.
9. Шерстнева Н.Е. Изучение влияния дозы ультрафиолетового излучения на содержание витамина D3 и КМАФАнМ в молоке / Н.Е. Шерстнева // Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России: Сб. науч. трудов X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук РАН. – М.: ФГБНУ ВНИИМП им. В.М. Горбатова, 2016. – с. 430-433.
10. Харитонов, В.Д. Некоторые факторы, оказывающие влияние ан функциональные свойства сывороточных белков молока / В. Д. Харитонов, Н. Е. Шерстнева // Научное обеспечение молочной промышленности микробиология, биотехнология, технология, контроль качества и безопасности: Сборник научных трудов, Москва, 01 января – 31 2015 года / Учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт молочной

промышленности (ФГБНУ «ВНИМИ»). – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, 2015. – С. 242-246.
11. Рязанцева, К.А. Исследование реологических свойств функционального эмульсионного кисломолочного продукта / К. А. Рязанцева, Е. Ю. Агаркова, А. Г. Кручинин, Н. Е. Шерстнева // Научное обеспечение молочной промышленности микробиология, биотехнология, технология, контроль качества и безопасности: Сборник научных трудов, Москва, 01 января – 31 2015 года / Учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГБНУ «ВНИМИ»). – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, 2015. – С. 223-227.
12. Харитонов, В.Д. Влияние ультрафиолетового излучения на основные компоненты и микробиологические показатели жидких пищевых продуктов / В.Д. Харитонов, Н.Е. Шерстнева // Труды БГУ. – 2014. – том 9, часть 1, с. 9-22.
13. Шерстнева, Н.Е. Разработка и внедрение ультрафиолетовой обработки молока и сыворотки / Н.Е. Шерстнева, В.Г. Будрик, В.Д. Харитонов // Фундаментальные и прикладные исследования по безопасности и качеству пищевых продуктов. Сборник научных трудов VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ВНИИТЕК (Видное), 2014. – с. 326-330.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КСБ – концентрат сывороточных белков
УФ облучение – ультрафиолетовое облучение
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