

ДОВГУН НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ

**ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В
ТЕХНОЛОГИЯХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ**

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

05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных
веществ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Голубева Любовь Владимировна
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

доктор технических наук, доцент
Титов Сергей Александрович
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Официальные оппоненты: **Евдокимов Иван Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО
«Северо-Кавказский федеральный университет»;
проректор по научной работе

Курчаева Елена Евгеньевна
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им императора Петра 1», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Вологодская государственная
молочнохозяйственная академия» им. Н.В. Верещагина,
г. Вологда

Защита состоится «_7_» мая 2014 г. в 13 ч. 30 мин. на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036 г. Воронеж, пр-т. Революции 19, конференц зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим присылать ученому секретарю совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВПО «ВГУИТ» www.vsuet.ru 25.02.2014 г. Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте Министерства образования и науки РФ: vak2.ed.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВПО «ВГУИТ» www.vsuet.ru. 04.марта.2014 г.

Автореферат разослан « 29 » марта 2014 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

М.Е. Успенская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Одним из важнейших факторов, определяющих продолжительность жизни населения, является полноценное и здоровое питание. В основных направлениях «Концепции государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации на период до 2020 г.» предусматривается разработка и внедрение принципиально новых молочных продуктов, обладающих высокой биологической ценностью, благоприятно воздействующих на функции организма, путем нормализации обменных процессов. В этой связи исследования, направленные на разработку и внедрение в производство продуктов питания, пищевых добавок, являются важной народнохозяйственной задачей.

Кисломолочные напитки, пользуются заслуженной популярностью у населения благодаря освежающему вкусу, нежной консистенции, благоприятному влиянию на человеческий организм. В последнее время многие производители стали добавлять в кисломолочные напитки различные обогатители, однако, зачастую это делается бессистемно, без учета особенностей микроструктуры, реологических характеристик, биологической совместимости компонентов обогатителя и молочной основы.

Изучение свойств кисломолочных напитков с различными добавками занимались такие ученые как Л.В. Антипова, Н.Б. Гаврилова, Л.В. Голубева, Н.И. Дунченко, Л.А. Забодалова, З.С. Зобкова, Е.И. Мельникова, Л. А. Остроумов, А.Г. Храмцов, А. Tamim, R. Robinson, T. Amatayakul и др. Перспективными для применения в качестве биологических добавок к кисломолочным напиткам являются порошок перепелиных яиц, пектин, молочная сыворотка, пищевые волокна. Порошок перепелиных яиц обладает уникальной пищевой и биологической ценностью (белки, аминокислоты, витамины, ферменты), молочная сыворотка имеет высокое содержание необходимых для человека минеральных веществ и витаминов, пищевые волокна выводят шлаки и токсины из организма, используются полезными бактериями кишечника. Кроме того, применение молочной сыворотки поможет решить проблему ее утилизации. Применение пищевых волокон позволяет придать продукту оптимальную консистенцию. Однако свойства кисломолочных напитков с их добавлением, а так же особенности технологии изготовления таких напитков представлены в отечественной и зарубежной литературе недостаточно. В связи с этим целенаправленное введение таких добавок и отработка соответствующих технологий кисломолочных напитков является актуальной научно-практической проблемой.

Кисломолочные напитки и пищевые добавки являются гидратированными системами с различной степенью гидратации, поэтому взаимодействие основных компонентов молочного сырья и добавок существенно влияет на параметры гидратации образующейся пищевой системы, ее структурно-механические свойства. Изучение и моделирование таких взаимодействий позволяет рассмотреть изменения свойств сырья под действием микроорганизмов, т.к. их развитие и активность тесно связаны с

гидратацией, и с другой стороны, вещества, выделяемые в процессе их жизнедеятельности, могут существенно влиять на свойства гидратированных систем.

Данная работа выполнялась в соответствии с ГБ НИР кафедры технологии молока и молочных продуктов Воронежского государственного университета инженерных технологий «Разработка технологии молочных продуктов целевого назначения, в том числе лечебно-профилактического, специального, функционального, обогащенного витаминами и биологически активными добавками», а также грантом «Функциональные и безопасные продукты для обеспечения физиологического статуса и активного метаболизма организма на основе рационального использования биоресурсов» (госконтракт № 1418).

Цель работы: развитие научных представлений и создание теоретических моделей прогнозирования свойств продуктов на молочной основе применительно к технологии обогащенных кисломолочных напитков.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование биотехнологического и биогенного потенциала пищевых добавок природного происхождения;
- обоснование выбора сырьевых источников и разработка их комбинаций;
- построение физико-математической модели молочной основы с заданной вязкостью;
- исследование технологических характеристик новой пищевой добавки с пребиотическими свойствами;
- определение особенностей развития микроорганизмов в предлагаемых молочных основах;
- изучение свойств кисломолочных напитков, выработанных по разработанным рецептурам;
- проведение промышленной апробации, расчет экономической эффективности и создание проекта технической документации на производство обогащенных кисломолочных напитков.

Научные положения выносимые на защиту:

- особенности реологии, микроструктуры, микробиологии кисломолочных напитков с поликомпонентной пищевой добавкой, обеспечивающей высокую пищевую и биологическую ценность, формирующей структурно-механические свойства заданного уровня;
- технологические параметры получения и свойства суспензии свекловичных пищевых волокон на основе творожной сыворотки, прошедшей обработку методом мембранной электрофлотации;
- рекомендации по практическому применению порошка перепелиных яиц, композиции творожной сыворотки с желатином и пектином, а также суспензии свекловичных пищевых волокон в технологии кисломолочных напитков.

Научная новизна:

- предложен метод изучения кинетики деформации гелеобразных пищевых систем, на примере кисломолочных напитков;

- предложена новая пищевая добавка (загуститель с пребиотическими свойствами) – гомогенизированная суспензия пищевых волокон на флотированной творожной сыворотке. Впервые изучены состав, микроструктура, водосвязывающая способность, реологические свойства суспензии в зависимости от условий получения;
- построена физико-математическая модель, позволяющая рассчитать концентрацию пищевых волокон, необходимую для получения заданной вязкости суспензии при данной температуре;
- изучена закономерность изменения количества микроорганизмов при сквашивании молока с добавлением суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке и с добавлением порошка перепелиных яиц;
- получены новые сведения по особенностям формирования функционально-технологических и реологических свойств кисломолочных напитков с добавлением суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке. Показано, что изменением содержания суспензии можно регулировать консистенцию и органолептические свойства конечных продуктов при существенной интенсификации процесса сквашивания кисломолочных напитков.

Практическая ценность. Предложен ряд технологических решений для производства кисломолочных напитков с добавлением порошка перепелиных яиц, сухой подсырной сыворотки, композиции желатин – пектин, творожной сыворотки, обработанной мембранной электрофлотацией, концентрированной суспензии пищевых волокон в сыворотке, прошедшей электрофлотационную обработку.

Разработано устройство для контроля структурно-механических показателей кисломолочных напитков.

На основании результатов исследований разработан пакет технической документации на производство кисломолочного напитка (ТУ 9224-017-02068108 «Напиток кисломолочный»).

Экономическая и технологическая целесообразность, социальная значимость предложенных технологий и рецептур обогащённых кисломолочных продуктов подтверждена промышленной апробацией на ООО «Узловский молочный комбинат» (Тульская область).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и получили одобрение на конференциях различного уровня, проходивших в г. Воронеж (XLIII научная конференция 2004 г., XLIV научная конференция 2006 г., XLVIII научная конференция 2009 г.), г. Вологда (третья всероссийская научная конференция 2005 г. «Вузовская наука – региону»), г. Омск (межрегиональный научно-практический семинар 2005 г. «Теория и практика новых технологий в производстве продуктов питания»), г. Москва (международная научно-практическая конференция ВНИИПП 2006 «Новые мировые тенденции в производстве продуктов мяса птицы и яиц»), г. Волгоград (материалы третьей всероссийской научно-технической конференции 2005 г. «Вузовская наука – региону»).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки, 2 патента на изобретение, 7 тезисов в материалах конференций и семинаров, 2 статьи и 1 тезисы в сборниках научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения,

литературного обзора, экспериментальной, технологической частей, выводов, списка литературы и приложений, подтверждающих практическую значимость результатов.

Содержание работы изложено на 190 страницах, содержит 40 таблиц и 63 рисунка. Список литературы включает 105 наименований, в том числе 12 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и определены основные направления, цель и задачи диссертационного исследования.

В первой главе приведены результаты информационно-патентного поиска по вопросам обогащения кисломолочных продуктов пищевыми добавками. Охарактеризованы различные сырьевые источники веществ, пригодных для использования в производстве кисломолочных напитков. Показана перспективность в этом отношении молочной сыворотки, перепелиных яиц, различных источников пищевых волокон (яблочный жом, жом сахарной свеклы, кожура цитрусовых). Проанализированы имеющиеся литературные данные по гелеобразованию в растворах молочных белков, желатина, пектина. Представлены данные по действию кисломолочных продуктов на организм человека и отмечено, что можно усилить пробиотическое действие кисломолочных напитков и придать им дополнительные функции сорбента шлаков в кишечнике добавлением физиологически активных веществ. Приведены примеры использования обогатителей в технологии кисломолочных напитков. В связи с актуальной экологической проблемой, связанной с утилизацией отходов от производства сахара, которые являются источником загрязнения окружающей среды, в качестве компонента позволяющего регулировать реологические свойства кисломолочных напитков, выбраны пищевые волокна, вырабатываемые из жома сахарной свеклы.

Во второй главе описывается схема, объекты и методы исследований. Теоретические и экспериментальные работы проведены в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

Объектами исследований явились: сухое обезжиренное молоко ГОСТ 23621; сухой порошок перепелиных яиц по ТУ – 9219 – 228 – 23476484; сыворотка молочная сухая ГОСТ Р 53492-2009; сыворотка молочная ГОСТ Р 53438-2009; сыворотка молочная ГОСТ Р 53438-2009, прошедшая обработку методом мембранной электрофлотации; пищевые волокна ТУ – 9112 – 001 – 62644854 – 2011; суспензия пищевых волокон в флотированной сыворотке; кисломолочный напиток с внесением порошка перепелиных яиц; кисломолочный напиток с добавлением флотированной сыворотки, желатина ГОСТ 11293 – 89 и пектина ГОСТ 29186 – 91, в различных соотношениях; кисломолочный напиток обогащенный суспензией пищевых волокон в флотированной творожной сыворотке.

При выполнении экспериментальных исследований применяли стандартные методы физико-химического и микробиологического анализа, а также модифицированные и усовершенствованные. Основным электрофизическим методом исследования служил кондуктометрический.

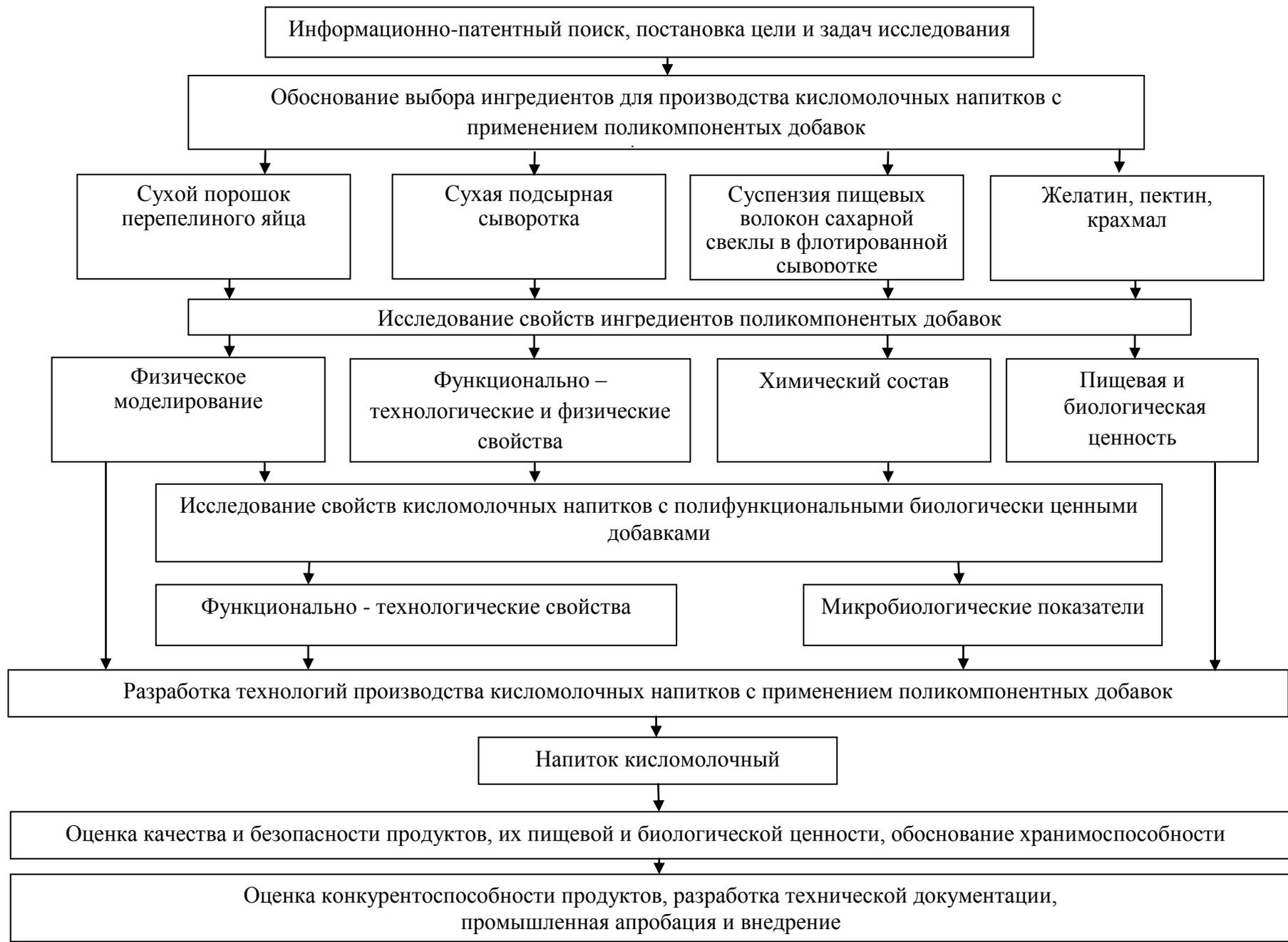


Рисунок 1. Схема проведения исследований

Был разработан вариант этого метода, наиболее подходящий для изучения растворов сухих молочных продуктов, а также соответствующие измерительные приборы. Для определения влагосвязывающей способности молочнокислых гелей или кисломолочных сгустков, а так же суспензий была предложена методика, в которой сочетали элементы методов центрифугирования и фильтрования. В настоящей диссертационной работе разработана методика определения кинетики измерения реологических параметров гелеобразных сред, в которой в качестве элемента, погружаемого в исследуемую пищевую среду используется плоский индентор треугольной формы; разработана и изготовлена экспериментальная установка, реализующая данную методику. С целью исследования элементного состава применялся электронно-зондовый рентгеновский микроанализ.

В третьей главе изложены результаты исследования ингредиентов кисломолочных напитков и пищевых добавок (порошка перепелиных яиц, сухой подсырной и флотированной творожной сыворотки, суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке), что является предпосылкой для прогнозирования свойств обогащенных кисломолочных напитков.

Изучен аминокислотный состав порошка перепелиных яиц, высушенного при температуре 135°C, (индекс растворимости 0,99). Установлено, что добавление порошка перепелиных яиц обогащает кисломолочные напитки такими аминокислотами как валин, метионин, изолейцин, лейцин, треонин, фенилаланин, серин, гистидин, цистин, а так же рядом витаминов и микроэлементов. Результаты исследования порошка перепелиных яиц позволяют положительно ответить на вопрос о возможности и целесообразности его использования в составе кисломолочных напитков.

Изучали особенности использования сухой молочной сыворотки, при производстве кисломолочного напитка. В результате кондуктометрических исследований получены зависимости изменения индекса растворимости сухой подсырной сыворотки с различными сроками хранения от массы ее навески. Проведенные исследования показывают, что индекс растворимости сухой подсырной сыворотки близок к 100 % и не зависит от срока хранения, при массовой доле ее в растворе 8%, что соответствует условиям изготовления кисломолочных напитков с внесением сухой подсырной сыворотки. Если же в процессе хранения произошло частичное комкование сухой сыворотки, то следует пользоваться кондуктометрической методикой определения индекса растворимости и увеличить массу растворяемой сухой подсырной сыворотки.

В результате исследований и расчетов получена уточненная формула для определения индекса растворимости сухой подсырной сыворотки, учитывающая изменение объема электролита при растворении сухого компонента:

$$P = \frac{V_1 + V_d - \frac{m_{02}}{a} \frac{m_{01}}{m_{02}}}{V_1} \quad (1)$$

где V_1 – объем воды, см³;
 V_d – объем добавленной воды, см³;
 m_{01} – масса растворившейся сухой подсырной сыворотки, г;
 m_{02} – масса навески, г.
 P – индекс растворимости, %.

Для эффективного применения творожной сыворотки в рецептуре кисломолочных напитков, в первую очередь необходимо снизить ее кислотность. В настоящей работе это достигается методом мембранной электрофлотации сыворотки. Установка для реализации этого метода отличается от обычных электрофлотационных установок мембраной между анодом и катодом. Концентрация белка в сыворотке после обработки мембранной электрофлотацией снижается не более, чем на 20 – 25%, при этом значительно уменьшается активная кислотность (рисунок 2) и содержание Са (таблица 1), а так же улучшаются органолептические показатели флотированной творожной сыворотки.

Таблица 1. – Минеральный состав сыворотки

Вид сыворотки	Массовая доля, %				
	Na	P	Cl	K	Ca
Флотированная сыворотка	1,25	0,43	1,55	0,57	0,52
Нефлотированная сыворотка	1,06	0,8	1,03	0,45	1,02

Пищевые волокна обладают высокой сорбционной способностью и связывают токсины в организме. Химический состав тонко измельченной суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке приведен в таблице 2.

В настоящей работе эту добавку предлагается использовать для электрофлотации регулирования консистенции кисломолочных продуктов. Исследовали ее полисахаридный состав, реологию, микроструктуру, водосвязывающую способность.

Таблица 2. – Химический состав суспензии ПВ

Образец	Массовая доля, %				Пищевые волокна, %		Углево-ды, %
	Вода	Белок	Жир	Зола	Нерастворимые	Растворимые	
Суспензия ПВ в флотированной сыворотке	92,7	1,07	0,25	0,07	0,84	0,62	4,3
Флотированная молочная сыворотка	94,7	0,8	0,2	0,6	-	-	3,5

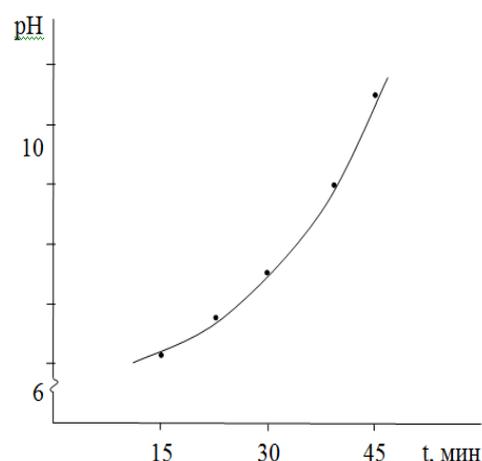


Рисунок 2. Изменение активной кислотности сыворотки в зависимости от времени

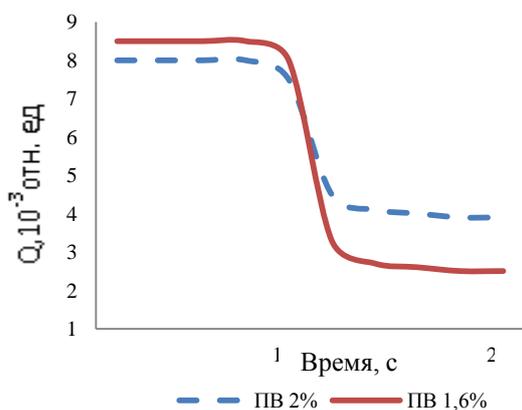


Рисунок 3. Кинетика погружения индентора в суспензию свекловичных пищевых волокон с массовой долей сухих веществ 1,6 % и 2 %

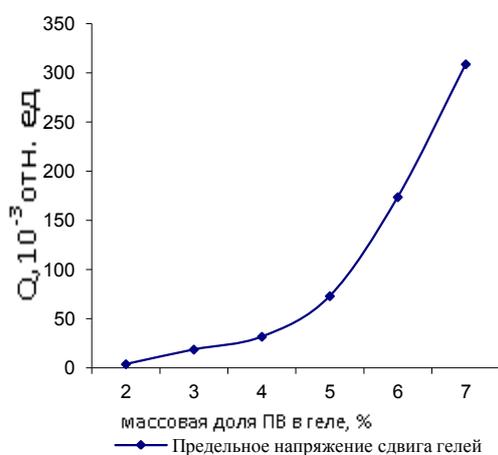


Рисунок 4. Зависимость прочности суспензии, от массовой доли ПВ

Сопоставление полисахаридного состава суспензии с составом свекловичного жома показывает, что в ходе обработки жома при получении волокон удаляется значительная часть лигнина, что способствует уменьшению устойчивости клеточной структуры к механическим воздействиям. Поэтому «зерна» растительных волокон после обработки в гомогенизаторе распадаются на мелкие частицы.

Это подтверждают исследования микроструктуры суспензии, а также измерения водосвязывающей способности (после гомогенизации суспензии она резко повышается). Наличие «ступеньки» на графике (рисунок 3) временной зависимости деформации суспензии, отсутствие изменений координаты индентора после скачка деформации говорит о значительном вкладе упругой составляющей в реологические характеристики не разрушенной структуры суспензии. Это приближает суспензию по структурно-механическим характеристикам к гелям.

Нелинейный характер зависимости прочности гелей от концентрации пищевых волокон (рисунок 4) так же свидетельствует о том, что суспензия не является вязкой жидкостью, но обладает свойствами структурированной твердообразной системы. Предполагается, что в ходе гомогенизации происходит частичный гидролиз протопектина, облегченный предварительной обработкой сырья для получения пищевых волокон щелочными и кислотными растворами.

Предположительно, происходит расщепление пищевых волокон на частицы микронных и субмикронных размеров.

Проведенные исследования показывают, что благодаря сочетанию пищевой ценности и оптимальных структурно-механических свойств, суспензия пищевых волокон на сыворотке, прошедшей электрофлотационную обработку, может расцениваться как перспективная пищевая добавка – загуститель к гелеобразным продуктам, в том числе и кисломолочным напиткам. Одной из важнейших характеристик таких добавок является вязкость. Выпуск добавки как полупродукта универсального назначения с заданной вязкостью возможен при условии предварительных расчетов на основе предлагаемой ниже количественной

физической модели. В производстве кисломолочных напитков представляют интерес исследования, позволяющие определить концентрацию волокон, необходимую для получения заданной эффективной вязкости суспензии при определенных параметрах: температуре, молекулярных характеристиках пищевых волокон, угловой скорости ротора вискозиметра.

Методами теоретической физики рассмотрены два основных режима вращения ротора вискозиметра:

При малой угловой скорости вращения ротора, когда отсутствуют процессы разрушения структурированной дисперсной системы, окружающей ротор, т.е. когда механическое напряжение сдвига σ меньше напряжения разрушения структуры σ_b и момент сил, вращающих ротор, приложен к структурированной суспензии. В этом случае связь механического напряжения с моментом сил имеет вид:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{M}{2\pi R_1^2 H}, \quad (2)$$

где F – сила, вращающая ротор, Н;

H – высота ротора, м;

R_1 – радиус ротора, м;

S – площадь поверхности ротора, м².

Скорость движения частиц суспензии v находили методами физической кинетики:

$$v = v_0 \frac{2\sigma S l^2}{kT} e^{-\frac{V_b}{kT}}, \quad (3)$$

где v_0 – частота колебаний частиц вблизи дна потенциальной ямы;

l – характерный размер частиц (так как физически потенциальная яма обусловлена притяжением частиц, то размер ямы будет примерно равен размеру частиц);

S – площадь контакта частиц;

V_b – барьер или, что то же самое, энергия разрыва связи между частицами.

Ротор вращается с достаточно большой угловой скоростью, структура вблизи его поверхности разрушается, т.е. образуется кольцевой слой с разрушенной структурой, вязкость которого η меньше вязкости среды за пределами этого слоя. Угловая скорость ротора находится по формуле:

$$\omega_1 = \frac{\sigma_b}{2\eta} \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_1^2} + \frac{v_2}{R_2}, \quad (4)$$

где σ_b – механическое напряжение разрушения структуры, а внешний радиус R_2 разрушенного слоя имеет значение:

$$R_2 = \sqrt{\frac{M}{2\pi\sigma_b^2}}, \quad (5)$$

Скорость v_2 движения жидкости на границе с не разрушенной дисперсной системой выражается следующей формулой:

$$v = v_0 \frac{2\sigma_b^2 S l^2}{kT} e^{-\frac{V_b}{kT}}, \quad (6)$$

Зависимость вязкости разрушенного слоя от концентрации частиц суспензии определяется формулой:

$$\eta = \eta_0(1 + A_1 \varphi_0 (C_1 + 4C_2)), \quad (7)$$

По формулам (2)-(3) для первого режима и (4)-(7) – для второго рассчитывали зависимость момента сил, необходимого для вращения ротора с угловой скоростью ω от этой скорости, затем дифференцированием полученной зависимости находили эффективную вязкость при определенной величине ω . Оптимизационными методами определяли концентрацию волокон, необходимую для получения суспензии с определенной эффективной вязкостью.

Теоретически рассчитанные данные достаточно точно совпадают с экспериментальными, измеренными на вискозиметре «Brokfeeld».

В четвертой главе исследованы свойства образцов кисломолочных напитков со следующими добавками – на основе порошка перепелиных яиц; флотированной творожной сыворотки с комбинацией желатин-пектин; суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке.

Исследовали влияние использования порошка перепелиных яиц на процесс сквашивания кисломолочного напитка. Установлено что повышается содержание *Lbc. bulgaricum* (от 1,2 до 1,5 раз) и *Str. termophilus* (от 1,5 до 4 раз) по сравнению с контролем (рисунок 5). Это может быть связано с наличием необходимых для роста этих микроорганизмов витаминов и аминокислот, имеющихся в порошке перепелиных яиц.

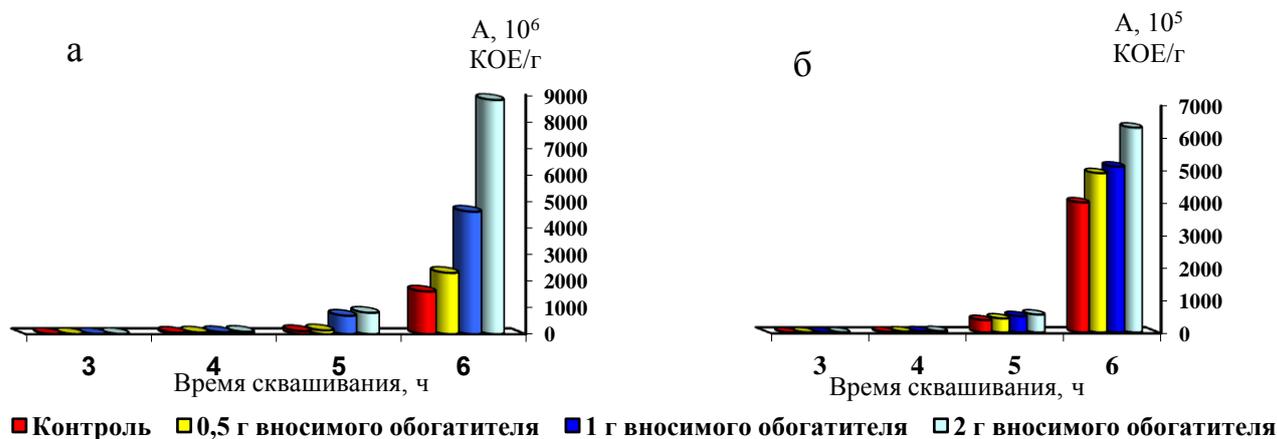


Рисунок 5. Динамика изменения количества молочнокислых стрептококков (а) и болгарской палочки (б) в процессе сквашивания

Порошок перепелиных яиц использовался в качестве обогатителя во всех рецептурах разрабатываемых кисломолочных напитках.

Использование сухой подсырной и особенно пастеризованной творожной сыворотки в рецептурах кисломолочных напитков позволяет значительно снизить их себестоимость. Изучен вопрос об изменении предельного напряжения сдвига при замене части молока в кисломолочных напитках водным раствором сухой подсырной сыворотки (таблица 3).

По результатам испытаний была определена оптимальная доля замены молока сухой подсырной сывороткой – 20%.

Как показали исследования структурно-механических свойств, пастеризованная сыворотка может использоваться в рецептуре

кисломолочных напитков, только при условии применения загущающих и гелеобразующих компонентов – например, желатина и пектина.

Таблица 3. – Предельное напряжение сдвига и органолептические характеристики кисломолочных напитков

Доля замены молока сухой сывороткой	Вкус и запах	Предельное напряжение сдвига, отн.ед.
10%	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	7,9
20%	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	7,3
30%	Чистый, кисломолочный, с легким привкусом сыворотки	7,0

В этом случае предельное напряжение сдвига таких напитков приближается к соответствующим характеристикам контрольного образца – напитка на основе цельного молока. Если в таких напитках используется сыворотка, прошедшая электрофлотационную обработку, то предельное напряжение сдвига снижается примерно на 20%, однако существенно улучшаются органолептические показатели готового продукта. Это может быть связано с пониженным содержанием кальция, повышающего прочность геля, как казеина, так и желатина. Если в рецептуру входит пектин, то с увеличением доли замены молока сывороткой различие в прочности напитков с добавлением флотированной и нефлотированной сыворотки уменьшается, что обусловлено, по-видимому, комплексообразованием пектина с белками молока, на которые влияет содержание ионов Ca^{+2} . Введение желатина и пектина в различных соотношениях в кисломолочные напитки с использованием пастеризованной творожной сыворотки изменяют прочность структуры этих продуктов, практически не влияя на вкусовые характеристики. Добавление флотированной творожной сыворотки, благодаря высокому значению рН, позволяет использовать для изготовления кисломолочных напитков молоко с повышенной кислотностью. Установлено, что кислотность молочно-сывороточной смеси может быть уменьшена на 1 – 2°Т при замене 30% молока флотированной сывороткой, при этом полученный кисломолочный напиток имеет приятный вкус и нормальную прочность сгустка при кислотности молока не выше 22°Т.

Суспензия пищевых волокон на флотированной сыворотке была применена для замены части молока при производстве кисломолочных напитков. Как показали испытания таких сгустков, их предельное напряжение сдвига и водосвязывающая способность равна или выше, чем у сгустков из цельного молока.

Резкое отличие графика концентрационной зависимости предельного напряжения сдвига кисломолочных напитков с добавлением пищевых волокон (рисунок 6) от графика изменения прочности суспензии в зависимости от концентрации волокон (рисунок 4) дает основание полагать, что пищевые волокна не являются основным структурообразователем, но в ходе сквашивания способствуют формированию смешанного геля.

С использованием этого графика и предельного напряжения сдвига контрольных образцов кисломолочных напитков с наилучшей оценкой консистенции по результатам органолептических испытаний была найдена оптимальная концентрация добавленных волокон. Она равна 1% от массы нормализованной смеси. Водосвязывающая способность (ВСС) кисломолочных сгустков растет с увеличением массовой доли волокон, она значительно выше, чем у суспензии волокон и, кроме того, превышает ВСС сгустков без добавления волокон. Это связано с встраиванием растворимых пектиновых веществ в белковые агрегаты из-за противоположности заряда пектина и казеина при рН 4,5.

Пектин частично гидрофилизует казеиновые агрегаты, а так же снижает их электростатическое отталкивание, что способствует гидрофильным контактам и повышению прочности продуктов. Роль пектина могут выполнять так же микронные и субмикронные остатки волокон.

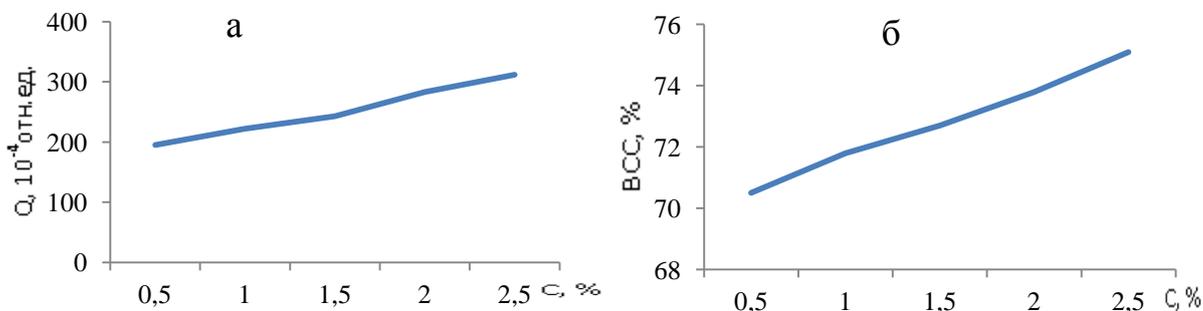


Рисунок 6. Изменение предельного напряжения сдвига (а) и водосвязывающей способности (б) кисломолочного напитка с применением суспензии пищевых волокон, от их концентрации

На основании изучения микроструктуры кисломолочных сгустков (рисунок 7) можно сделать вывод, что в результате добавления пищевых волокон вместо белковых образований формируется более крупные единицы дисперсной фазы (2) кисломолочного сгустка, состоящих из белковых агрегатов, окруженных «осколками» разрушенных в ходе гомогенизации волокон. Рост прочности с заменой части молока суспензией пищевых волокон связан с уменьшением объема крупных участков дисперсионной среды (1) между участками, занятыми белково-пектиновыми образованиями.

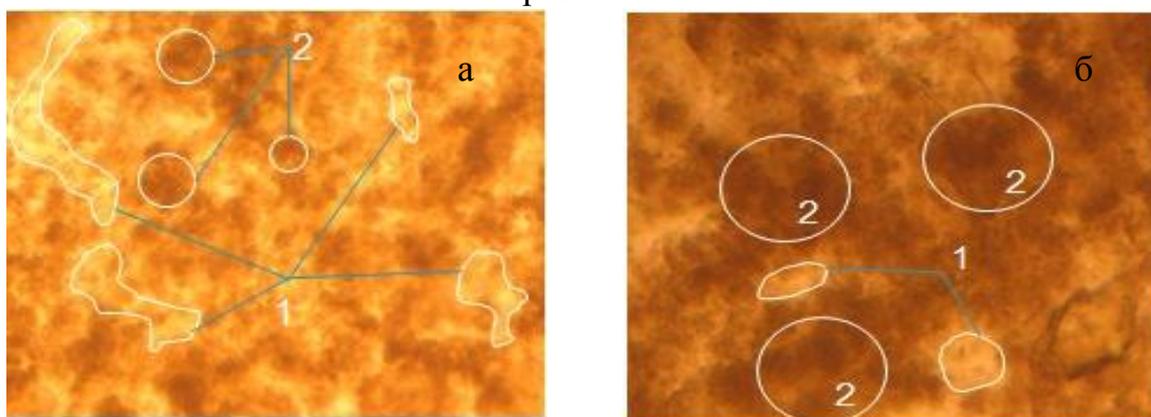


Рисунок 7. Микроструктура кисломолочных напитков с использованием в качестве стабилизационной системы крахмал – желатин (а) и микроструктура кисломолочного напитка при использовании молочнокислых микроорганизмов «YO-MIX 401» с массовой долей пищевых волокон 1% от массы продукта (б)

Это подтверждается сопоставлением микроструктуры кисломолочных сгустков, изготовленных с использованием различных заквасок с соответствующими изменениями прочности. Наибольшим предельным напряжением сдвига обладают сгустки, полученные с использованием закваски DANISKO YO-MIX 401, что обусловлено выделением микроорганизмами, входящими в эту закваску, экзополисахаридов, дополнительно гидрофилизирующих казеиновые агрегаты. Это уменьшает вероятность фазового разделения, при котором растут размеры участков дисперсионной среды, снижающих прочность продуктов.

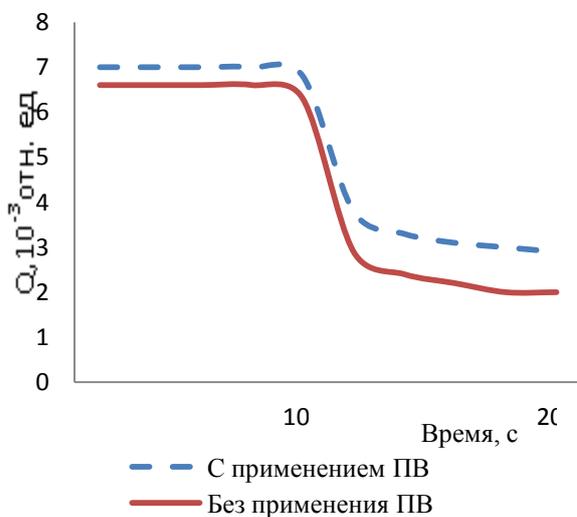


Рисунок 8. Изменение предельного напряжения сдвига кисломолочных сгустков с применением свекловичных пищевых волокон и без применения пищевых волокон.

Таблица 4. – Параметры упругого последействия в сгустках с добавлением суспензии пищевых волокон на флотированной сыворотке

Образец	$\eta_s, Pa \cdot c$	$\eta_p, Pa \cdot c$	θ_2, c	E_2, Pa
Опытный	210	-	0.625	336
Контрольный	89	1020	0.25	356

Повышенное значение вязкости упругого последействия опытного образца связано с затруднением перетекания дисперсионной среды между частицами из-за уменьшения величины зазоров между ними. Однако сопоставимые величины этого параметра для опытного и контрольного образца говорят об отсутствии растворимого пектина в дисперсионной среде кисломолочного сгустка. Различие релаксационной вязкости связано с развитой поверхностью агломератов в сгустках с волокнами, что увеличивает вероятность их сцепления при столкновениях.

Исследования и сравнение кисломолочных сгустков с внесением пищевых волокон различного происхождения (рисунок 9) показали, что сгустки с добавлением суспензии свекловичных пищевых волокон на сыворотке входят в первую тройку напитков по величине прочности кисломолочного сгустка, а так же имеют сравнительно высокую величину влагосвязывающей способности, что может быть связано с повышенной степенью набухания свекловичных пищевых волокон.

Отмеченные в работе закономерности формирования свойств кисломолочных сгустков с поликомпонентными добавками могут быть объяснены в рамках модели Дискинсона. Взаимодействие между пектин-

белковыми агрегатами в этом случае осуществляется, как с помощью гидрофобных связей между молекулами белка, так и путем установления водородных связей между осколками волокон и молекулами белков соседних агрегатов.

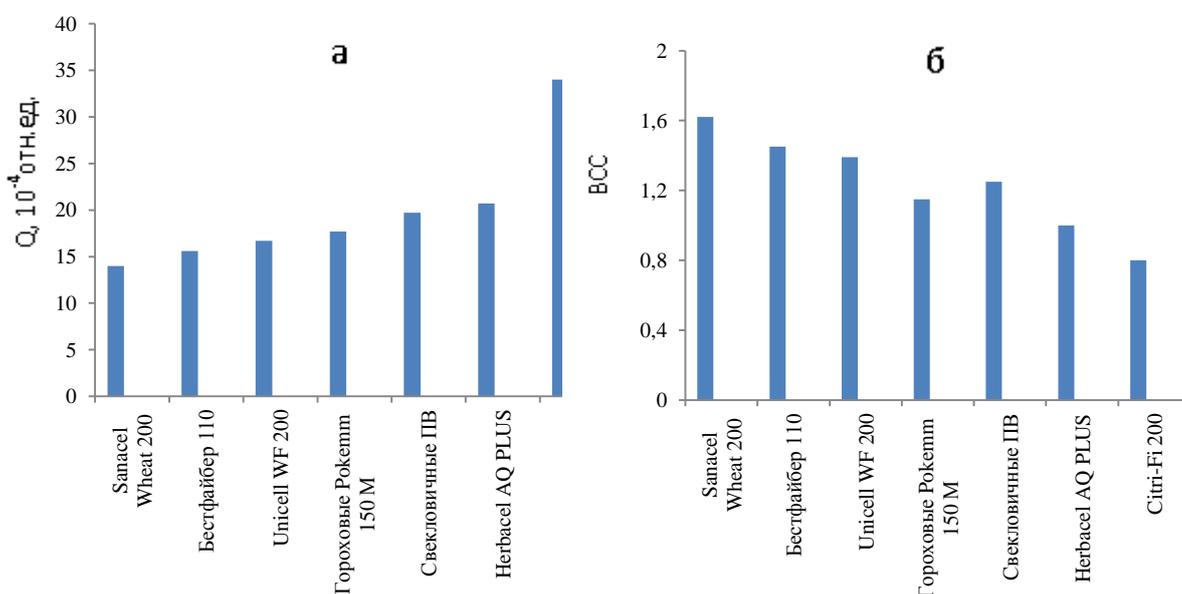


Рисунок 9. Изменение предельного напряжения сдвига (а) и влагосвязывающей способности (б) кисломолочного напитка, от вида вносимых пищевых волокон

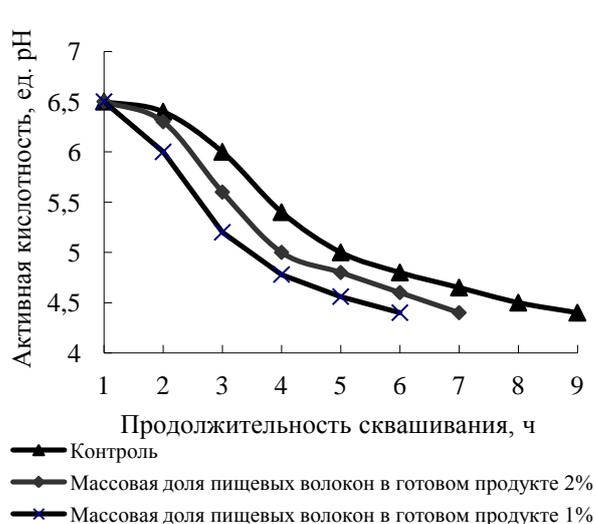


Рисунок 10. Кривые Кислотообразования (кисломолочные микроорганизмы «DANISCO» серия YO MIX 401)

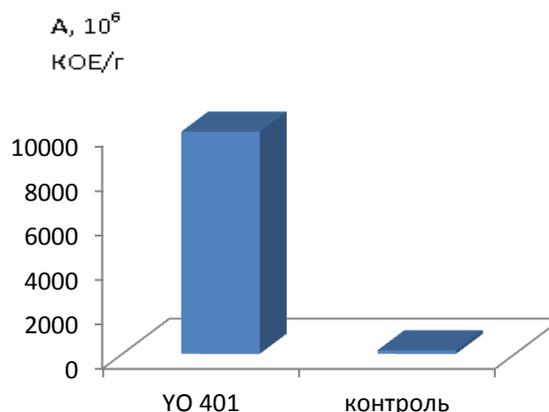


Рисунок 11. Содержание термофильного стрептококка в готовом продукте, при использовании разных видов заквасок

Сравнительные исследования кислотообразующей способности микроорганизмов различных заквасок (YO-MIX 401, AiVi серии Lbs 22.11R 2, Lactoferm серии YO-401) показали, что время сквашивания и образование сгустка с использованием пищевых волокон, изготовленных с закваской DANISKO YO-MIX 401, уменьшается на 40% по сравнению с контролем (рисунок 10), что связано с усиленным развитием молочнокислых термофильных стрептококков, ответственных за повышение кислотности (рисунок 11).

Лучшие условия для развития стрептококков, по-видимому, обусловлены наличием твердого субстрата в виде частиц волокон в кисломолочном продукте.

В пятой главе описаны особенности технологии кисломолочных напитков с изучаемыми в работе пищевыми добавками. Предложена следующая технологическая схема производства кисломолочного напитка с добавлением сухого порошка перепелиного яйца (рисунок 12):

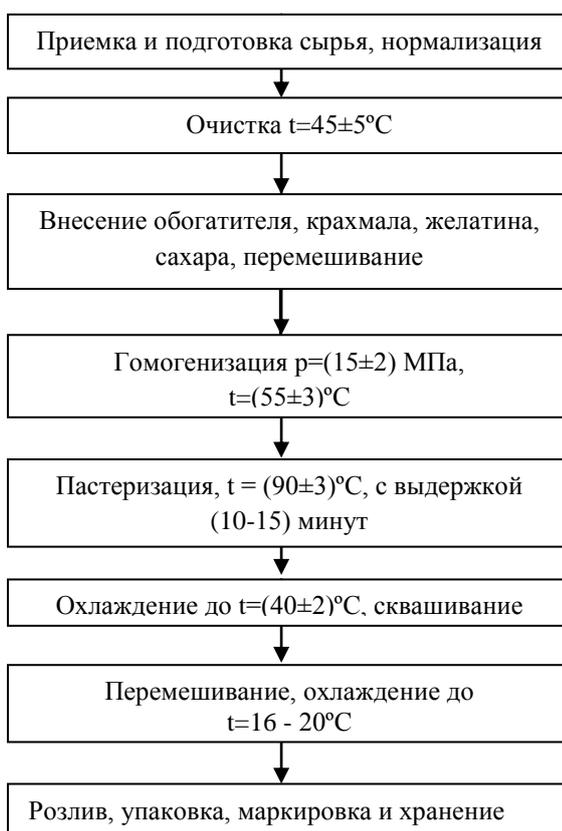


Рисунок 12. Блок – схема процесса производства кисломолочного напитка

В ходе испытаний, исследовали несколько видов полученных напитков, которые отличались по массовой доле вносимого сухого порошка перепелиных яиц (компонент обогатитель). Определена дозировка компонента обогатителя 1 % от массы нормализованной смеси, которая не влияет на структурно-механические свойства и вкус готового продукта. Изучен аминокислотный состав кисломолочного напитка, проведены исследования на хранимоспособность. За конечный срок хранения кисломолочного напитка в соответствии МУК 4.2.1847-04 выбраны 10 суток. На протяжении всего срока хранения рН кисломолочного напитка составляла 4,3.

Изучена биологическая ценность кисломолочного напитка, характеризующаяся содержанием свободных аминокислот; рассчитан аминокислотный скор в сравнении со шкалой ФАО/ВОЗ (таблица 5).

Таблица 5.1. – Биологическая ценность кисломолочного напитка

Аминокислота	Справочная шкала ФАО/ВОЗ		Кисломолочный напиток			
	А, мг/г	С	Контроль		Образец	
			А, мг/г	С	А, мг/г	С
Валин	50	100	40,3	80,6	41,8	83,8
Изолейцин	40	100	40,9	102,3	41,8	104,7
Лизин	55	100	62,5	113,6	65,6	119,3
Лейцин	70	100	89,0	127,2	92,5	132,1
Треонин	40	100	40,0	100	45,0	112,5
Фенилаланин + тирозин	60	100	58,1	96,8	68,1	113,5
Метионин + цистин	35	100	73,8	210,7	76,5	218,7

Предложена следующая технологическая схема производства кисломолочного напитка с применением сухой подсырной сывороткой (вариант I) и с заменой доли натурального молока флотированной творожной сывороткой (вариант II) (рисунок 13).

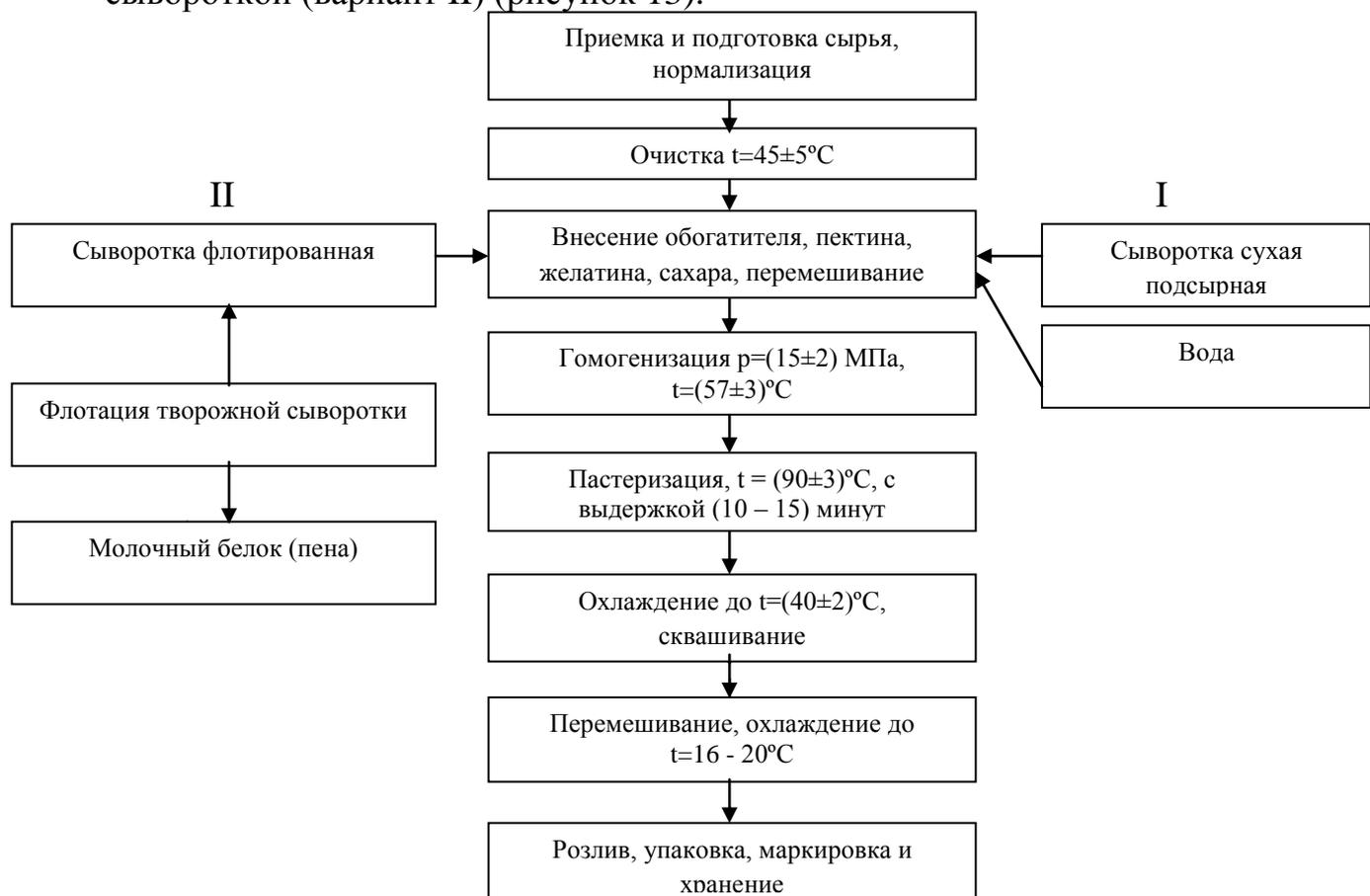


Рисунок 13. Блок – схема процесса производства кисломолочного напитка с добавлением сыворотки

Для приготовления кисломолочного напитка использовалась творожная сыворотка после мембранной электрофлотации, в процессе которой происходит частичное удаление белка из сыворотки, а так же переход из кислой среды в нейтральную, а затем в слабо щелочную. Изменение рН флотированной творожной сыворотки определяется временем обработки. Установлено, что значение рН флотированной сыворотки равное 7, является

оптимальным, так как близко к активной кислотности молока, и не оказывает влияния при производстве на процесс сквашивания.

Разработана технология кисломолочного напитка с применением мелкодисперсной суспензии пищевых волокон (ПВ) в флотированной творожной сыворотке.

Высокие температуры при пастеризации негативно влияют на нативные свойства молока, поэтому предложена технология производства кисломолочного напитка с применением более низкой температуры пастеризации нормализованной смеси молока (рисунок 14).

В качестве стабилизационной системы применяли растительные ПВ, полученные из отхода производства сахара.

Процесс мембранной электрофлотации творожной сыворотки проводится аналогично процессу, описанному выше в технологии производства кисломолочного напитка с флотированной сывороткой $pH \geq 7,0$ и компонентом обогатителем.

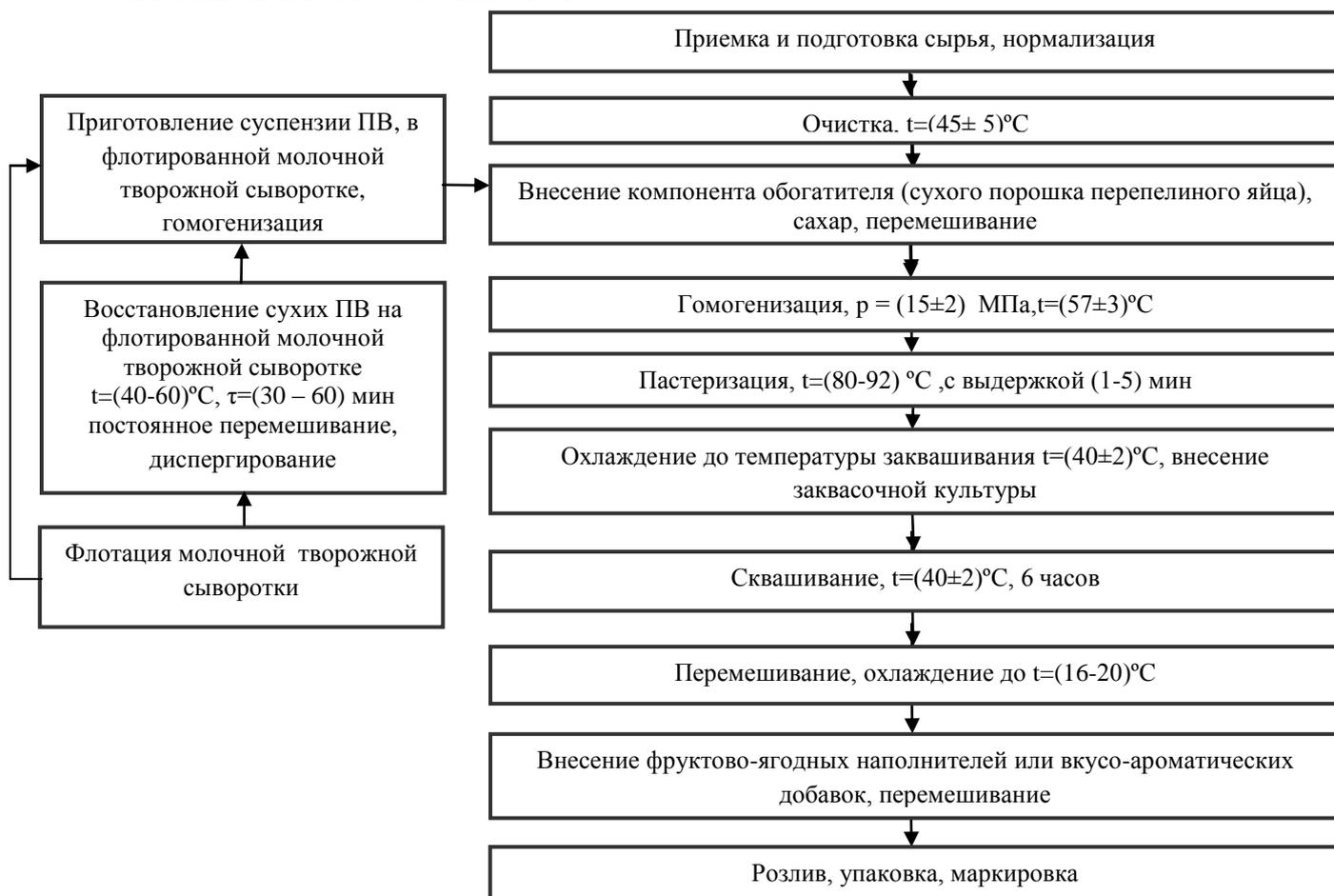


Рисунок 14. Блок – схема процесса производства кисломолочного напитка с применением суспензии ПВ в флотированной сыворотке

Образцы кисломолочного напитка были исследованы на хранимоспособность, в соответствии с МУК 4.2.1847-04, которые устанавливают порядок проведения и методологию санитарно-эпидемиологической оценки обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Отбор проб проводили на 5, 10, 12, 14, и 18 сутки. Установленный срок годности кисломолочного напитка 14 суток.

Согласно системе НАССР, разработана система критических контрольных точек для каждой технологической схемы производства кисломолочного напитка, контроль и соблюдение которых снижает потенциальные риски при производстве безопасного и с высоким качеством продукта.

Экономическая эффективность работы составляет 42% рентабельности производства разработанной технологии кисломолочного напитка с применением сухого порошка перепелиного яйца и суспензии пищевых волокон во флотированной творожной сыворотке позволяет выделить достаточные средства на рекламно-коммерческую деятельность и окупить затраты на внедрение технологии.

Выводы:

1. Обоснован выбор порошка перепелиных яиц, творожной сыворотки, пектина и свекловичных пищевых волокон в качестве пищевых добавок к кисломолочным напиткам.
2. Разработана методика для исследования кинетики механической релаксации в пищевых средах и создана установка для ее реализации. Определены кинетические характеристики механической релаксации для кисломолочных напитков с добавлением суспензии пищевых волокон в флотированной творожной сыворотке.
3. Определена и установлена доза сухого порошка перепелиных яиц, соответствующая 1 % от массы нормализованной смеси, обеспечивающая увеличение пищевой и биологической ценности кисломолочного напитка.
4. Предложена новая пищевая добавка – суспензия свекловичных пищевых волокон на сыворотке, прошедшей обработку методом мембранной электрофлотации. Разработана количественная физическая модель, связывающая реологические параметры суспензии с концентрацией, температурой, скоростью движения, молекулярными характеристиками волокон.
5. На основе изучения структурно-механических, микроструктурных характеристик, а также определения влагосвязывающей способности в различных условиях установлено, что рост прочности кисломолочных напитков с заменой части молока суспензией пищевых волокон на сыворотке связан с уменьшением объема крупных участков дисперсионной среды между участками, занятыми белково-пектиновыми образованиями. Определена массовая доля свекловичных пищевых волокон в продукте, обеспечивающая наиболее приемлемые структурно-механические характеристики – 1%.
6. Разработаны рецептуры и технологии кисломолочных напитков с добавлением порошка перепелиных яиц, композиции флотированной сыворотки с желатином и пектином, суспензии свекловичных пищевых волокон в флотированной сыворотке.
7. Разработаны проекты технической документации, производственная апробация технологий и опытно-производственные выработки проводились

в условиях завода по производству кисломолочных продуктов ООО «Узловский молочный комбинат» (Тульская область). Выявлена экономическая целесообразность и социальная значимость предложенных технологий и рецептур обогащённых кисломолочных напитков.

**По материалам диссертации опубликованы следующие работы:
статьи в журналах, рекомендованных ВАК МИНОБРНАУКИ РФ**

1. Голубева, Л.В. Исследование растворимости сухих молочных продуктов/Л.В. Голубева, С.А. Титов, Н.П. Довгун //Хранение и переработка сельхозсырья, 2010. - №11-С. 22 – 24 (0,22 п.л., лично соискателем 0,07).
2. Голубева, Л.В. Методика определения растворимости сухих молочных продуктов на основе кондуктометрических измерений /Л.В. Голубева, С.А. Титов, Н.П. Довгун // Хранение и переработка сельхозсырья, 2010.- № 12-С. 30 – 32 (0,22 п.л., лично соискателем 0,07).
3. Голубева, Л.В. Разработка рецептурно-компонентного решения состава молочного коктейля /Л.В. Голубева, О.И. Долматова, Н.П. Довгун, Е.А. Лесняк // Пищевая промышленность, 2012.-№12-С. 42 – 43 (0,22 п.л., лично соискателем 0,055).
4. Голубева, Л.В. Формирование консистенции молочного коктейля/Л.В. Голубева, О.И. Долматова, Н.П. Довгун, В.А. Чугуевская // Пищевая промышленность, 2013.-№01-С. 61 (0,08 п.л., лично соискателем 0,02).
5. Голубева, Л.В. Структурно-механические свойства кисломолочных напитков с биологически ценными добавками/ Л.В. Голубева, С.А. Титов, Н.П. Довгун // Вестник ВГАУ, 2013.-№3-С. 141- 148 (0,57 п.л., лично соискателем 0,19).

материалы конференций

1. Голубева, Л.В. Перспективные направления в улучшении консистенции вареного сгущенного молока с сахаром/ Л.В. Голубева, Д.В., Ключникова, Н.П. Довгун//Сибирский государственный медицинский университет. «Естествознание и гуманизм» Сборник научных работ Том 2,. Томск 2004.-№2-С. 82 (0,08 п.л., лично соискателем 0,026).
2. Голубева, Л.В. Перспективы использования перепелиных яиц в технологии функциональных молочных продуктов / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Материалы XIII отчетной научной конференции за 2004 год: в 3 ч./ Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2005.-Ч.1-С.73 (0,08 п.л., лично соискателем 0,02).
3. Голубева, Л.В. Некоторые аспекты повышения биологической ценности кисломолочных напитков / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону», Вологда, 2005.- Т.2.-С.228-229 (0,22 п.л., лично соискателем 0,055).
4. Голубева, Л.В. Пути повышения витаминного состава молока пастеризованного / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Сборник научных трудов участников межрегионального

научно-практического семинара «Теория и практика новых технологий в производстве продуктов питания», Омск, 2005.-С.30 (0,08 п.л., лично соискателем 0,02).

5. Голубева, Л.В. Особенности денатурации сывороточных белков кисломолочного напитка / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону», Вологда, 2005.-Т.2.-С.235-236 (0,14 п.л., лично соискателем 0,035).
6. Голубева, Л.В. Влияние жесткости воды на растворимость порошка перепелиных яиц / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, Довгун Н.П.// Материалы XLIV отчетной научной конференции за 2005 год: в 3 ч./ Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2006-Ч.1-С.163 (0,08 п.л., лично соискателем 0,02).
7. Голубева, Л.В. Некоторые аспекты использования сухого порошка перепелиных яиц в технологии производства йогурта / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Г.Г. Грачев, Довгун Н.П.// Международная научно-практическая конференция «Новые мировые тенденции в производстве продуктов из мяса птицы и яиц» ВНИИПП 2006.-С. 138-140 (0,22 п.л., лично соискателем 0,055).
8. Голубева, Л.В. Новый ассортимент молочных продуктов с использованием перепелиных яиц / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Ежеквартальный журнал-каталог «Молочная река», 2005.-№3-С.14-15 (0,14 п.л., лично соискателем 0,035).
9. Голубева, Л.В. Влияние дозировки сухого порошка перепелиного яйца на процесс сквашивания кисломолочных продуктов / Л.В. Голубева, Д.В. Ключникова, О.В. Шинкаренко, Довгун Н.П.// Алтайский государственный технический университет Ползуновский альманах 2006.-№2.-С.219-220 (0,14 п.л., лично соискателем 0,035).
10. Титов, С.А. Спектральные характеристики молочной сыворотки, прошедшей ультрафильтрационную обработку на установке с противодавлением./С.А.Титов, Н.П.Довгун //Материалы XLVIII Отчетной научной конференции за 2009.-Ч II-С. 171 (0,08 п.л., лично соискателем 0,02).

патенты РФ

11. Голубева, Л.В. Способ получения напитка кисломолочного/Голубева Л.В., Ключникова Д.В., Довгун Н.П., Шинкаренко В.В., Грачев Г.Г.//Патент РФ на изобретение №2305410 от 20.08.2006 (0,64 п.л., лично соискателем 0,12).
12. Голубева, Л.В. Способ получения напитка молочного/Голубева Л.В., Ключникова Д.В., Довгун Н.П., Шинкаренко В.В., Грачев Г.Г.//Патент РФ на изобретение №2307515 от 20.08.2006. (0,42 п.л., лично соискателем 0,084).

Подписано в печать 03.03.14. Формат 60 x 84 1/16
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 10
ФГБОУВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
(ФГБОУВПО «ВГУИТ»)
Отдел полиграфии ФГБОУВПО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии:
394036, Воронеж, пр. Революции, 19