

На правах рукописи

БОБРОВА Анна Владиславовна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАТОВ ПАХТЫ И МОЛОЧНОЙ
СЫВОРОТКИ, ПОЛУЧЕННЫХ НАНОФИЛЬТРАЦИЕЙ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Вологда-Молочное – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Острецова Надежда Геннадьевна

Официальные оппоненты: Евдокимов Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов

Ионова Инна Исааковна – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», доцент кафедры технологии и биотехнологии продуктов питания животного происхождения

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»

Защита состоится «____» 2019 года в _____ часов

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 «____» 2019 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

А.Н. Захаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из приоритетных направлений развития молочной отрасли на современном этапе является разработка и реализация технологий функциональных продуктов, обеспечивающих рациональное питание, способствующих сохранению здоровья, физической и умственной работоспособности, повышению сопротивляемости организма человека. В связи с этим актуальной задачей является производство кисломолочных продуктов с повышенным содержанием полноценных белков, обогащенных пробиотической микрофлорой и биологически активными веществами природного происхождения.

Значительный вклад в научное развитие производства молочных продуктов функционального назначения внесли А.В. Банникова, Н.Б. Гаврилова, В.И.Ганина, Г.А.Донская, Л.В. Голубева, И.А. Евдокимов, Л.А. Забодалова, З.С. Зобкова, Н.Н. Липатов, Л.А Остроумов, А.А. Покровский, В.Ф Семенихина, Н.А. Тихомирова, И.С. Хамагаева, В.Д. Харитонов, А.Г. Храмцов и другие.

При этом производство продуктов с повышенным содержанием белковых компонентов является одним из решений проблемы дефицита белка в структуре питания населения. Для решения этой задачи в работе использован баромембранный методnanoфильтрации для концентрирования побочного молочного сырья в частности, пахты и молочной сыворотки, что, решает проблему его глубокой и безотходной переработки.

Качество ферментированных продуктов обеспечивается подбором заквасочной микрофлоры с учетом состава молочной основы для их производства. Включение в рецептуру растительных компонентов позволяет усилить благоприятное воздействие кисломолочных продуктов на полезную микрофлору кишечника человека.

Целью диссертационной работы является разработка технологии функциональных кисломолочных продуктов путем подбора молочной основы с повышенной массовой долей полноценного белка, включающей концентраты пахты и сыворотки, полученные nanoфильтрацией, обеспечивающей активизацию заквасочной, в том числе пробиотической, микрофлоры.

Для достижения поставленной цели были определены основные **задачи**:

- теоретически обосновать выбор молочной основы для использования в составе кисломолочных продуктов функционального назначения;
- обосновать выбор параметров процесса nanoфильтрации пахты и подсырной сыворотки и методов оперативного контроля за процессом nanoфильтрации;
- изучить состав и свойства концентратов пахты и концентратов сыворотки, их микроструктуру, обосновать компонентный состав молочной основы для кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка;
- провести исследования по подбору видового состава заквасочной микрофлоры для придания продуктам высоких потребительских характеристик и пробиотических свойств;
- изучить формирование микроструктуры сгустков при сквашивании молочной основы, включающей концентрат пахты и концентрат сыворотки,

- выявить ее взаимосвязь со структурно-механическими свойствами сгустков;
- исследовать биологическую ценность, физико-химические, микробиологические, органолептические показатели кисломолочных продуктов в процессе хранения, обосновать их функциональные свойства;
 - разработать комплект нормативной и технической документации на продукты и провести опытно-промышленную выработку.

Научная новизна. Получены зависимости изменения органолептических, синеретических, микробиологических свойств кислотных сгустков от состава молочной основы, вида и дозы закваски.

Установлен дисперсный состав и характер микроструктуры в концентратах пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, определены закономерности формирования структуры кисломолочных сгустков на их основе.

Научно обоснованы и экспериментально подтверждены рациональные параметры технологии функциональных кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и молочной сыворотки, полученных нанофильтрацией.

Практическая значимость. Разработана технология функциональных кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией. Разработаны технические условия и технологическая инструкция на их производство (ТУ 10.51.52-015-00493250-2018, ТИИ 10.51.52-016-00493250-2018).

Проведена опытно-промышленная проверка разработанной технологии в условиях АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина. Новизна технических решений подтверждается патентом РФ № 2580023 «Способ получения кисломолочного продукта из концентратов вторичного молочного сырья».

Работа выполнялась в 2012-2018 гг. в ФГБОУ ВО Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина в соответствии с планом НИР по теме «Совершенствование традиционных и создание новых технологий молочных продуктов с высокой пищевой и биологической ценностью на основе повышения качества, рационального использования молочного сырья и современных методов его обработки (№ государственной регистрации 0120.0802655).

Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА им. Н.В. Верещагина для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения».

Апробация работы. Результаты работы были представлены выступлениями на конференциях и участием в конкурсах, публикациями в научных журналах и сборниках, в проведении опытно-промышленной выработки в условиях АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина.

Основные положения диссертационной работы были доложены на конференциях различного уровня: «Ежегодной смотр-сессии аспирантов и молодых ученых» (Вологда-Молочное, 2012-2014 гг.); Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2013 г.); Международной научно-

практической конференции «Аграрный сектор России в условиях международных санкций: вызовы и ответы» (г. Москва, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014 г.); на семинаре «Инновационные решения при производстве творога и масла» (г. Вологда, Протемол, 2014 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Молодые исследователи – развитию молочнохозяйственной отрасли» (Вологда-Молочное, 2017, 2018 гг.); Международной научно-практической конференции «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам» (Вологда-Молочное, 2018 г.).

Научная работа «Разработка технологии кисломолочного продукта функционального назначения на основе концентратов вторичного молочного сырья» стала лауреатом конкурса на лучший проект Всероссийской электронной базы инновационных разработок сферы АПК (организаторы - Российский союз сельской молодежи и ОАО «Росагролизинг», 2014 г.).

Актуальность данной работы подтверждается получением поддержки в виде гранта по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.») в 2014 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, 4 из них - в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературных источников и приложений. Объем основного текста работы составляет 182 страницы, включает 63 рисунка, 37 таблиц и 10 приложений. Список литературных источников содержит 267 наименований.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований по изменению состава и свойств пахты и подсырной сыворотки в процессе нанофильтрации;
- результаты исследований микроструктуры белковой фазы пахты, сыворотки и их концентратов, полученных нанофильтрацией, а также кислотных сгустков на их основе;
- обоснование компонентного состава молочной основы и технологических режимов для получения функциональных кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка;
- обоснование выбора ассоциации заквасочных культур для производства кисломолочных продуктов с пробиотическими свойствами;
- обоснование рациональной дозы сухих растительных экстрактов шиповника и мяты перечной, способствующих повышению пищевой ценности и улучшению органолептических свойств продуктов;
- результаты комплексных исследований свойств разрабатываемых продуктов, в том числе подтверждающих функциональные свойства продуктов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по изучаемому направлению исследований. Показана целесообразность концентрирования пахты и сыворотки нанофильтрацией для получения функциональных кисломолочных продуктов с повышенной массовой

долей высокоценного белка. Рассмотрена возможность совместного развития бифидо и лактобактерий с учетом состава молочной основы для придания пробиотических свойств продуктам и обеспечения требуемых органолептических, реологических и микробиологических показателей. Проанализированы свойства лиофильно высушенных экстрактов шиповника и мяты, способствующих повышению пищевой ценности и формированию органолептических показателей готовых продуктов.

Вторая глава «Организация работы, объекты и методы исследования». Экспериментальные исследования проводили в лаборатории исследования и производства молочных продуктов на базе АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В.Верещагина, в отделе физической химии Всероссийского научно-исследовательского института маслоделия и сыроделия, в испытательном центре ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», в АИЛ ФГЦАС «Вологодский».

Объектами исследования на разных этапах работы служили: пахта по ГОСТ 34354-2017; подсырная обезжиренная сыворотка по ГОСТ 34352-2017; концентраты пахты и подсырной сыворотки с массовой долей сухих веществ от 10 до 20%, полученные нанофильтрацией; молочная основа с соотношением концентрата пахты к концентрату сыворотки 75:25; 50:50; 25:75; концентраты моновидовые бактериальные лиофилизированные ацидофильной палочки вязкой по ТУ 9229-102-04610209-2015, термофильного стрептококка невязкого (производитель ФГУП «Экспериментальная биофабрика», г. Углич) по ТУ 9229-102-04610209-2015, концентрат бактериальный сухой бифидобактерий прямого внесения «Бифилайф Форте» (производитель ООО «Бифи-Лайф») по ТУ 9229-004-84782456-12; лиофильно высушенные экстракты шиповника и мяты перечной (производитель фармацевтическое научно-производственное предприятие САЛУТА-М) по ТУ 9197-008-66091441-12; кисломолочные продукты.

При проведении экспериментальных исследований применяли сертифицированное поверенное оборудование и современные методы исследований физико-химических и микробиологических показателей. Реологические показатели концентратов и кисломолочных продуктов определяли на ротационном вискозиметре «Реотест 2.1»; электронно-микроскопические исследования – на трансмиссионном электронном микроскопе (ТЭМ) EM-410 («Филипс», Нидерланды); аминокислотный состав продуктов – методом ВЭЖХ с помощью специализированной системы «Aracus». Определение витамина Е (α-токоферолов) проводили разделением токоферолов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ Р 54634-2011, витамина В1 – флуориметрическим тиохромным методом, В2 – флуориметрическим методом с использованием титрования рибофлавинсвязывающим апобелком. Органолептические исследования проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Срок годности определяли в соответствии с МУК 4.2.1847-04.

Результаты исследований оценивались с помощью программных пакетов Microsoft Office 2010 и Statistica 6.0. Схема проведения исследований представлена на рисунке 1.

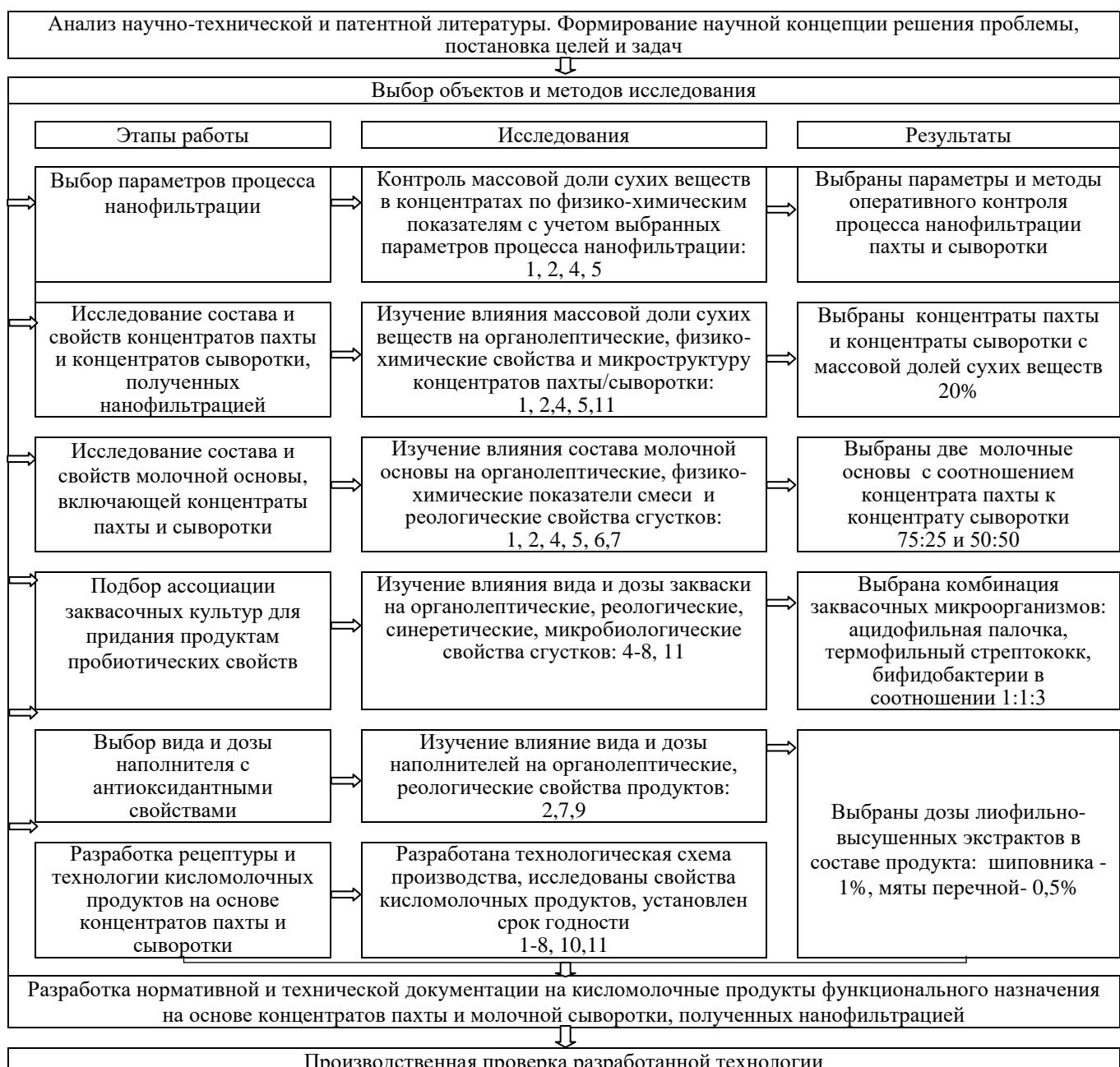


Рисунок 1- Схема проведения исследований

1- физико-химические показатели; 2 - органолептические показатели; 3 – показатели биологической ценности продукта; 4 – активная кислотность, ед.; 5 - титруемая кислотность, ^0T ; 6 - процент выделившейся сыворотки при центрифугировании, %; 7 - реологические характеристики сгустков; 8 – микробиологические показатели; 9 - содержание флавоноидов и каротиноидов; 10 – аминокислотный состав продукта; 11- микроструктура продукта.

Для концентрирования пахты и сыворотки использовали нанофильтрационную установку фирмы TIA (Франция), укомплектованную мембранными на основе полипитеразинамида с отсечкой по молекулярной массе 200 Д. С учетом рекомендаций производителя мембран процесс концентрирования осуществляли при температуре 20°C и давлении 2,5 МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение состава и свойств концентратов пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией

На первом этапе изучалось изменение физико-химических и органолептических показателей пахты и сыворотки в процессе концентрирования нанофильтрацией до массовой доли сухих веществ 20%. Изменения плотности, показателя преломления пахты и сыворотки в зависимости от массовой доли сухих веществ, определенной методом высушивания по ГОСТ Р 54668-2011, представлены на рисунке 2 (повторность опытов - пятикратная).

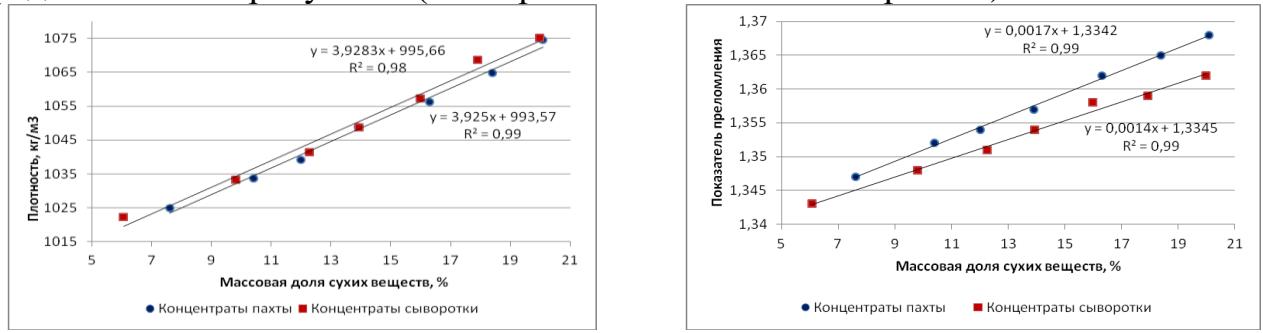


Рисунок 2 –Изменение а) плотности, б) показателя преломления пахты и сыворотки в процессе нанофильтрации

Полученные уравнения регрессии свидетельствуют о тесной прямой зависимости плотности, показателя преломления от массовой доли сухих веществ в концентратах пахты (коэффициент корреляции составляет 0,98 и 0,99, соответственно) и концентратах сыворотки (коэффициент корреляции составляет 0,99 и 0,99, соответственно). Таким образом, выявленные зависимости в графическом виде предлагаются использовать для оперативного контроля массовой доли сухих веществ в процессе концентрирования с целью получения концентратов с заданной массовой долей сухих веществ.

Результаты исследований массовой доли белка, титруемой и активной кислотности концентратов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Состав и свойства концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией

Исследуемый продукт	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля белка, %	Кислотность, °Т	pH, ед.
Концентраты пахты	Пахта	8,10±0,40	3,30±0,50	14,7±2,0
	Концентрат 1	10,40±0,20	3,60±0,70	16,4±2,8
	Концентрат 2	12,00±0,30	4,60±0,30	19,2±1,5
	Концентрат 3	13,90±0,30	5,50±0,50	23,0±1,1
	Концентрат 4	16,30±0,40	6,20±1,02	26,6±2,0
	Концентрат 5	18,40±0,20	6,60±0,70	30,1±2,5
	Концентрат 6	20,10±0,50	7,03±0,30	32,0±1,0
Концентраты сыворотки	Сыворотка	6,06±0,20	0,63±0,15	9,7±1,5
	Концентрат 1	9,80±0,39	0,90±0,10	13,7±0,5
	Концентрат 2	12,30±0,33	1,13±0,06	15,7±1,1
	Концентрат 3	13,94±0,13	1,30±0,10	18,7±1,1
	Концентрат 4	15,99±0,30	1,87±0,16	23,3±0,6
	Концентрат 5	17,92±0,18	2,09±0,08	26,3±0,5
	Концентрат 6	19,99±0,09	2,28±0,06	29,3±1,2

Установлено, что нанофильтрация пахты до массовой доли сухих веществ 20% позволяет получить концентраты с высокой массовой долей белка ($7,03\pm0,3$ %). При нанофильтрации сыворотки до массовой доли сухих веществ 20% массовая доля белка увеличивается с 0,63 до 2,3 %. Таким образом, концентрат пахты может служить основой для получения кисломолочных продуктов с высоким содержанием белка, а концентрат сыворотки целесообразно использовать для обогащения молочной основы полноценными сывороточными белками с целью изменения соотношения казеин : сывороточные белки в сторону увеличения последних.

Выявлено, что при повышении титруемой кислотности в процессе концентрирования пахты в среднем в 2,2 раза активная кислотность изменяется незначительно (на 0,27 ед), в концентратах сыворотки при повышении титруемой кислотности в среднем в 3 раза pH изменяется на 0,3 ед. По-видимому, это связано с наличием в концентратах ряда буферных систем, что позволяет прогнозировать интенсификацию молочнокислого процесса при сквашивании концентратов.

Для оценки органолептических показателей концентратов пахты и концентратов сыворотки разработана пятибалльная шкала для наиболее значимых потребительских характеристик – вкуса и запаха, консистенции. Средний балл по сумме баллов за вкус и запах, консистенцию концентратов пахты и сыворотки с массовой долей сухих веществ от 10 до 20% представлен на рисунке 3.

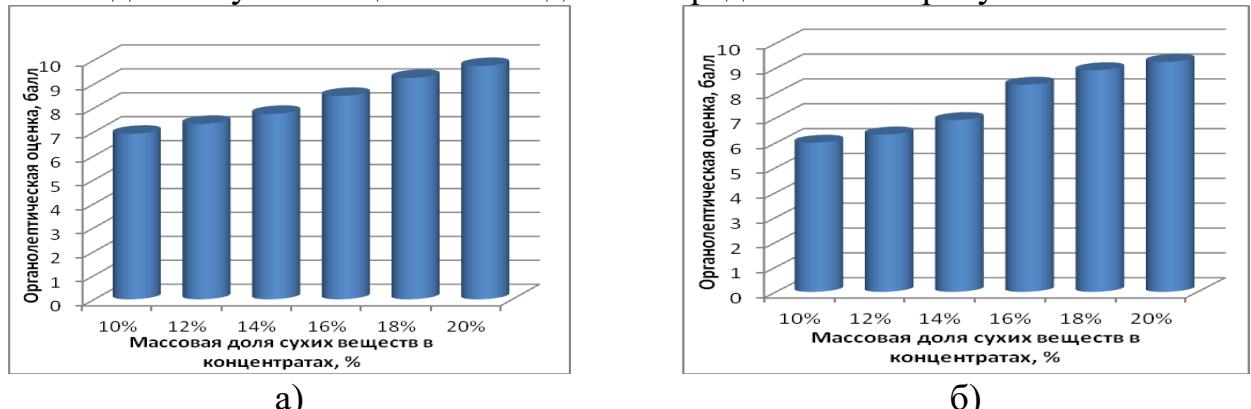


Рисунок 3 – Влияние массовой доли сухих веществ на органолептические показатели а) концентратов пахты; б) концентратов сыворотки

Органолептическая оценка показала, что концентраты пахты имели приятный сливочный вкус со сладковатым привкусом, выраженность которого увеличивалась с повышением степени концентрирования. В концентратах сыворотки по мере увеличения массовой доли сухих веществ до 20% ощущался легкий сывороточный привкус, выраженность которого сглаживалась сладковатым привкусом, по-видимому, за счет увеличения содержания лактозы, что в целом обеспечивало приемлемые органолептические показатели концентрата сыворотки с массовой долей сухих веществ до 20%. На улучшение органолептических показателей концентратов сыворотки влияет, по-видимому, частичная деминерализация в процессе нанофильтрации.

На основе комплексных исследований для получения кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей полноценного белка установлена целесообразность использования концентратов пахты и сыворотки, полученных

нанофильтрацией, с массовой долей сухих веществ 20%.

Для объективной оценки консистенции полученных концентратов изучено изменение их эффективной вязкости в зависимости от скорости сдвига (рисунок 4).

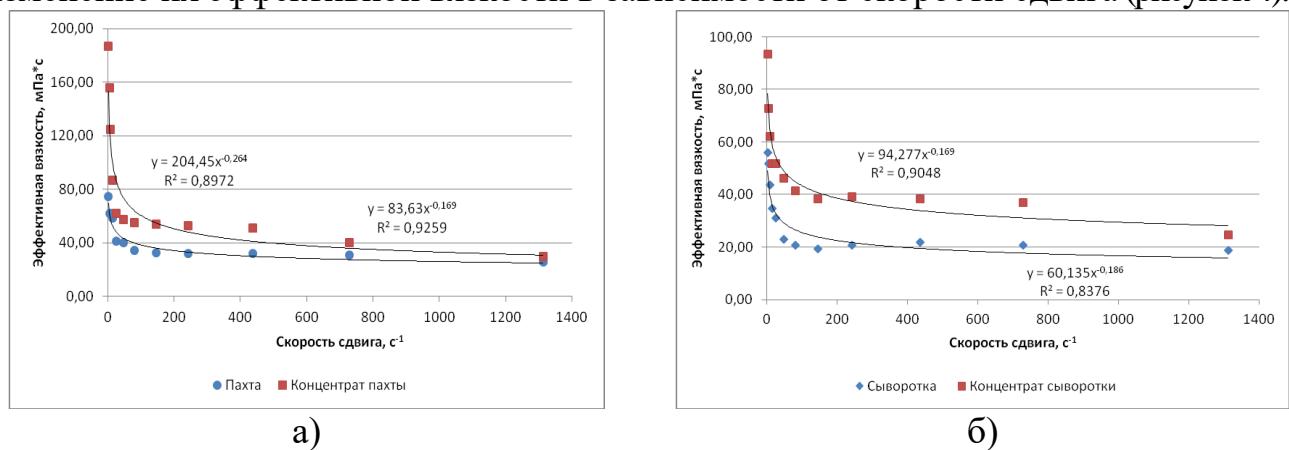


Рисунок 4 - Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига

а) пахты и концентрата пахты с массовой долей сухих веществ 20%; б) сыворотки и концентрата сыворотки с массовой долей сухих веществ 20%

Согласно полученным данным, использование концентратов с повышенной массовой белка будет оказывать существенное влияние на формирование консистенции кисломолочных напитков при сквашивании наряду с такими известными факторами, как состав и свойства закваски, температура, продолжительность ферментации и др.

Проведены электронно-микроскопические исследования микроструктуры пахты, сыворотки и их концентратов с массовой долей сухих веществ 20% с целью прогнозирования показателей качества (в первую очередь консистенции) кисломолочных продуктов на их основе (рисунок 5, таблица 2).

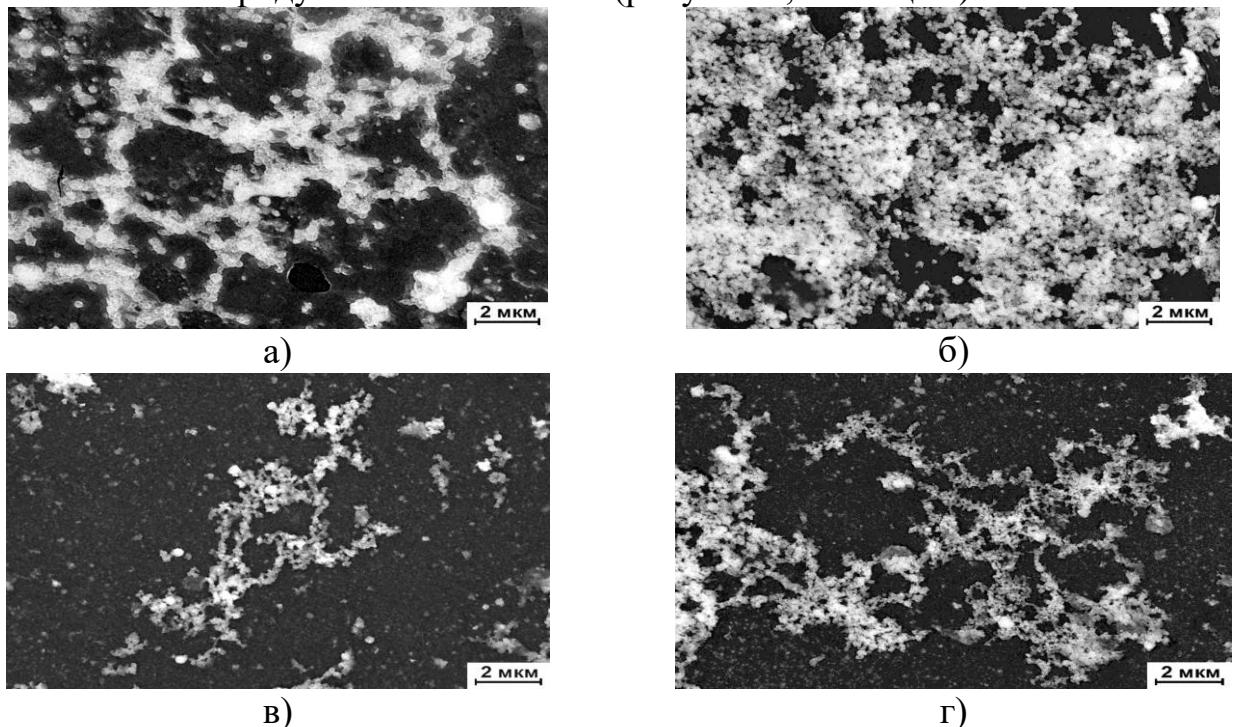


Рисунок 5 - Микроструктура и дисперсные частицы а) в пахте; б) в концентрате пахты; в) в сыворотке; г) в концентрате сыворотки

Таблица 2- Характеристика микроструктуры пахты, сыворотки и их концентратов

Объект исследования	Размер дисперсных частиц, нм	Размер ячеек пространственной сетки, мкм
Пахта	130±30	4,2±0,7
Концентрат пахты (20% сухих веществ)	130±30	1,3±0,4
Сыворотка	34±7	2,3±0,5
Концентрат сыворотки (20% сухих веществ)	58±9	1,8±0,5

Отмечено наличие в пахте дисперсных частиц как в изолированной форме, так и в виде слабосвязанных агрегатов, в то время как дисперсные частицы в нанофильтрационном концентрате пахты находятся, в основном, в связанной форме. При концентрировании пахты нанофильтрацией средний диаметр дисперсных частиц не увеличился и составил (130±30) нм, а размер ячеек пространственной сетки уменьшился в 3,2 раза. При этом эффективная вязкость концентрата пахты увеличилась в 2,5 раза (рисунок 4 а), что, вероятно, связано с усилением межмолекулярного взаимодействия элементов структуры в единице объема дисперсионной среды.

При концентрировании сыворотки размер частиц увеличился в 1,7 раза при уменьшении размера ячеек пространственной сетки в 1,3 раза. При этом вязкость концентрата увеличилась в 1,2 раза по сравнению с исходной сывороткой (рисунок 4 б), что связано, вероятно, с укрупнением дисперсных частиц и формированием отдельных свободных агрегатов.

Таким образом, в процессе нанофильтрации отмечено структурирование белковой фазы пахты и сыворотки, коррелирующее с реологическими характеристиками концентратов. Можно предположить, что в дальнейшем при формировании кисломолочного сгустка в процессе сквашивания элементы белковой фазы концентратов будут являться центрами образования новой непрерывной белковой фазы.

Влияние состава молочной основы на активность сквашивания и свойства кислотных сгустков

Для получения продуктов с высокой биологической ценностью были выбраны три вида молочной основы (массовая доля сухих веществ 20%) с соотношением концентрата пахты к концентрату сыворотки: 75:25; 50:50; 25:75 (варианты 1, 2, 3, соответственно). Характеристики концентратов и молочных смесей на их основе приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 - Состав молочной основы

Образец	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля жира, %	Массовая доля лактозы, %
Концентрат пахты	20,10±0,50	7,03±0,12	0,78±0,08	10,58±1,2
Концентрат сыворотки	19,99±0,09	2,28±0,26	0,10±0,01	14,95±1,4
Вариант 1	20,07±0,35	5,17±0,46	0,70±0,06	11,91±1,8
Вариант 2	20,05±0,29	4,44±0,33	0,55±0,05	12,08±1,0
Вариант 3	20,01±0,15	3,29±0,15	0,23±0,06	13,25±1,3

Таблица 4 - Физико-химические свойства молочной основы

Образец	Кислотность, °Т	pH, ед.	УЭП, мСм/см	Плотность, кг/м ³
Концентрат пахты	32,0±1,00	6,57±0,21	4,36±0,22	1068,7±1,2
Концентрат сыворотки	29,3±1,15	6,39±0,12	5,46±0,41	1077,3±0,6
Вариант 1	31,3±0,57	6,52±0,19	4,75±0,15	1072,0±1,0
Вариант 2	31,0±1,00	6,46±0,20	5,09±0,21	1073,7±0,6
Вариант 3	30,3±0,57	6,41±0,14	5,34±0,23	1074,3±0,6

Для изучения влияния состава молочной основы на органолептические, структурно-механические и микробиологические показатели продукта использовали закваску на основе ацидофильной палочки и термофильного стрептококка в соотношении 1:4 (доза закваски 5%, температура сквашивания (38 ± 2)°C). Установлено, что при повышении доли концентрата пахты в смеси с 25 до 75% средняя скорость кислотообразования за весь процесс сквашивания увеличивалась в 1,2-1,3 раза, влагоудерживающая способность сгустков улучшалась в 2,5 раза. Варианты 1 и 2 отличались хорошо выраженным кисломолочным вкусом и ароматом и однородной в меру вязкой консистенцией, при этом обеспечивалось достаточно высокое содержание жизнеспособных клеток молочнокислых микроорганизмов в конце сквашивания – 7,8-8,9 lg КОЕ/см³. На основании комплексных исследований выбраны два вида молочной основы для кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка – варианты 1 и 2.

Подбор ассоциации пробиотических культур для кисломолочных продуктов на молочной основе, включающей концентрат пахты и концентрат сыворотки

Для кисломолочных продуктов на молочной основе, содержащей выбранные комбинации концентратов пахты и сыворотки, необходимо было подобрать ассоциации заквасочных культур, обеспечивающие пробиотические свойства при условии получения хорошо выраженного кисломолочного вкуса и запаха продуктов и однородной, в меру вязкой консистенции.

Для получения продукта с пробиотическими свойствами в состав закваски включены ацидофильная палочка и бифидобактерии. Введение в состав закваски термофильного стрептококка позволит обеспечить формирование сгустка, достаточно устойчивого к разрушению.

Для исследования закономерностей совместного развития молочнокислых и бифидобактерий заквашивание молочной основы, включающей концентрат пахты и концентрат сыворотки, выбранными культурами проводили одновременно. Соотношение культур в заквасочной микрофлоре *Lactobacillus acidophilus* : *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* : *Bifidobacterium* (А:Т:Б) составляло 1:1:3; 1:2:2 и 1:3:1, соответственно. Сквашивание проводили при температуре (37 ± 1)°C до получения в меру вязкого сгустка. Продолжительность сквашивания составляла (4,0±0,5) ч.

Результаты исследований по влиянию состава молочной основы на активность развития бифидобактерий в процессе получения кислотного сгустка отражены в таблице 4, для этого исследовали смесь после заквашивания и готовый продукт.

Таблица 4 – Изменение количества жизнеспособных клеток бифидобактерий в процессе сквашивания

Соотношение культур в заквасочной микрофлоре А:Т:Б	Количество жизнеспособных клеток бифидобактерий, КОЕ/см ³		Средняя удельная скорость роста бифидобактерий, ч ⁻¹
	смесь после заквашивания	готовый продукт	
Доля концентрата пахты в молочной основе 75% (вариант 1)			
1:1:3	$8,1 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^7$	0,44
1:2:2	$4,6 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^7$	0,39
1:3:1	$2,6 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	0,36
Доля концентрата пахты в молочной основе 50% (вариант 2)			
1:1:3	$8,0 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^7$	0,42
1:2:2	$4,5 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^7$	0,37
1:3:1	$2,9 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^7$	0,25

Согласно данным таблицы 4, внесение закваски при принятом соотношении заквасочных культур не только обогащает молочную основу бифидобактериями, но и обеспечивает их развитие в процессе сквашивания. Так, количество бифидобактерий в готовом продукте с содержанием концентрата пахты 50% при соотношении заквасочных культур 1:1:3; 1:2:2 и 1:3:1 увеличилось в 5,4; 4,4; 3 раза, с содержанием концентрата пахты 75% - в 5,9; 4,8; 4,2 раза, соответственно.

Количество жизнеспособных клеток молочнокислых и бифидобактерий в конце сквашивания в исследуемых образцах представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Количество жизнеспособных клеток молочнокислых микроорганизмов и бифидобактерий в конце сквашивания

Соотношение культур в заквасочной микрофлоре А:Т:Б	Количество жизнеспособных клеток, КОЕ/см ³	
	Молочнокислые микроорганизмы	Бифидобактерии
Доля концентрата пахты в молочной основе 75% (вариант 1)		
1:1:3	$8,3 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^7$
1:2:2	$7,5 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^7$
1:3:1	$9,9 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^7$
Доля концентрата пахты в молочной основе 50% (вариант 2)		
1:1:3	$6,8 \cdot 10^8$	$4,3 \cdot 10^7$
1:2:2	$6,4 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^7$
1:3:1	$7,7 \cdot 10^8$	$0,9 \cdot 10^7$

Согласно полученным данным (таблица 5), оба образца молочной основы являются благоприятной средой для развития ацидофильной палочки и термофильного стрептококка при всех исследуемых соотношениях заквасочных культур. Количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий составляет от $6,8 \cdot 10^8$ до $9,9 \cdot 10^8$ КОЕ/см³, в зависимости от вида молочной основы и состава закваски.

Минимальное количество жизнеспособных клеток бифидобактерий отмечено в образцах с соотношением культур в заквасочной микрофлоре А:Т:Б равном 1:3:1. Наибольшее количество жизнеспособных клеток бифидобактерий отмечено в обоих образцах молочной основы: от $4,3 \cdot 10^7$ до $4,8 \cdot 10^7$ КОЕ/см³ при соотношении культур равном 1:1:3.

Одной из важных характеристик структуры кислотных сгустков является влагоудерживающая способность (рисунок 6).

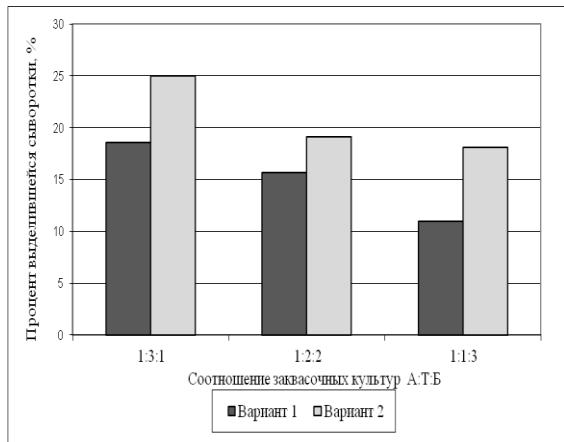


Рисунок 6 - Изменение влагоудерживающей способности сгустков

агрегатами сывороточных белков, имеющимися в концентрате сыворотки, образуют прочные агрегаты, которые формируют общую трехмерную структуру сгустка, обладающую повышенной вязкостью и стойкостью к синерезису.

Реологическое поведение сгустков при разном соотношении заквасочных культур оценивалось по скоростным характеристикам зависимости эффективной вязкости от скорости сдвига образцов (рисунок 7).

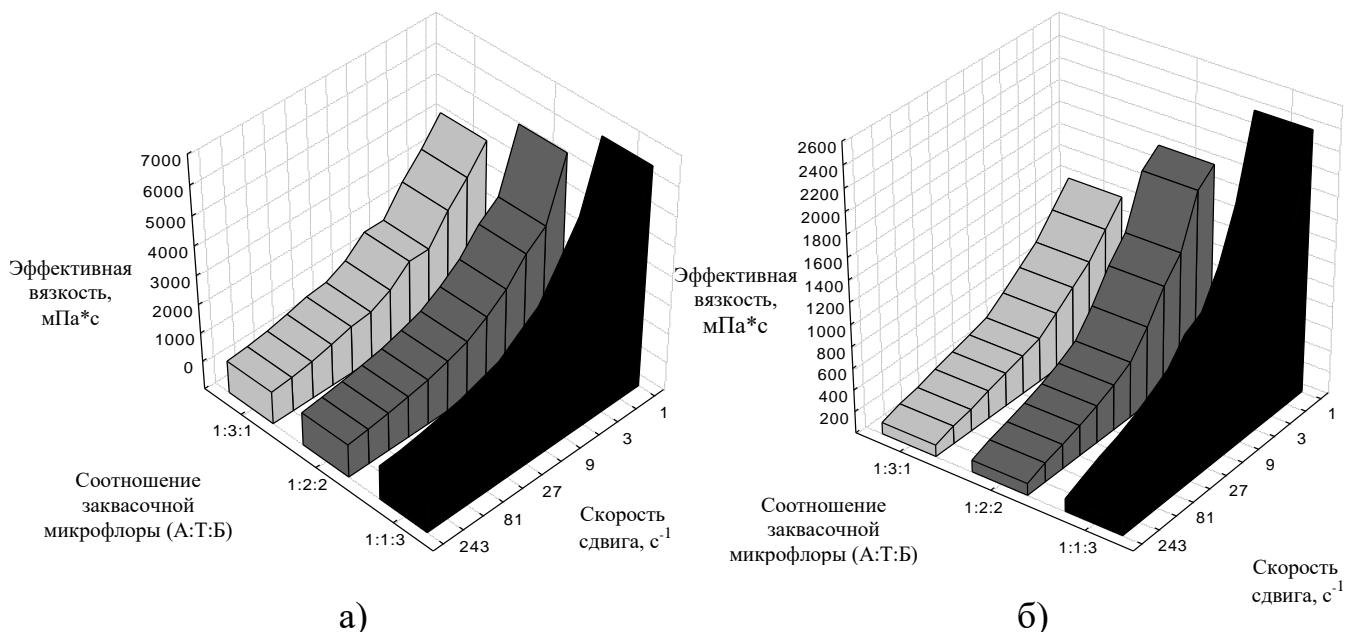


Рисунок 7 - Скоростная характеристика вязкости сгустков, полученных с использованием молочной основы: а) вариант 1; б) вариант 2

Взаимное расположение кривых течения (рисунок 7) показывает, что для сгустков на основе смеси (вариант 1) характерна высокая эффективная вязкость от 4158 до 6534 $\text{мПа}\cdot\text{с}$ в зависимости от используемой ассоциации заквасочных культур. Вязкость сгустка на основе смеси с долей концентрата пахты 75% в начальный момент разрушения системы при градиенте скорости 1 с^{-1} больше вязкости сгустков с долей концентрата пахты 50% в 2,3-3 раза. Вязкость образцов с соотношением заквасочных культур А:Т:Б, равном 1:1:3 в 1,1-1,9 раза выше в

Увеличение доли концентрата пахты в составе молочной основы до 75% существенно увеличивает влагоудерживающую способность сгустков при использовании исследуемых соотношений заквасочных культур. При исследовании микроструктуры сквашенного продукта отмечено большое количество однотипных глобулярных частиц с размерами около 300 нм, размер ячеек пространственной сетки при этом уменьшился до 1,4 мкм. По-видимому, глобулярные частицы в концентрате пахты в процессе сквашивания, взаимодействуя с отдельными свободными

сравнении с образцами, сквашенными закваской с соотношением культур А:Т:Б, равном 1:2:2 и 1:3:1 при использовании обоих вариантов молочной основы.

Способность сгустка восстанавливать структуру после механического воздействия при использовании молочной основы под вариантом 1 на 12,7-15,2% при всех комбинациях заквасочных культур больше, чем у молочной основы под вариантом 2. Установлено, что все образцы отличаются высокой способностью к восстановлению (73,9-92,9%), что важно при резервуарном способе производства.

Органолептическая оценка исследуемых образцов на основе обоих вариантов молочной смеси показала, что внесение заквасочных культур А:Т:Б в соотношении 1:1:3 способствует образованию сгустков с наиболее привлекательными потребительскими характеристиками за счет чистого кисломолочного вкуса и запаха, без излишней кислотности, при этом обеспечиваются требуемые реологические характеристики продуктов.

Исследование влияния экстрактов плодов шиповника и мяты перечной на свойства кисломолочных продуктов

Для обогащения разработанных продуктов биологически активными компонентами выбраны лиофильно высушенные экстракты шиповника и мяты перечной. В результате экспериментальных исследований в 100 г используемого экстракта шиповника обнаружено $(215 \pm 21,5)$ мг аскорбиновой кислоты, $(0,8 \pm 0,12)$ мг ТЭ витамина Е, $(0,012 \pm 0,0018)$ мг бетакаротина, $(0,014 \pm 0,002)$ мг ликопина, в экстракте мяты перечной – (580 ± 58) мг флавоноидов (флавонолов, флавонов и их гликозидов) и (160 ± 16) мг флавоноида гесперидина.

Исследовано влияние дозы экстракта шиповника (x_1), и мяты перечной (x_2) на показатели готового продукта с содержанием концентрата пахты 75% (вариант 1): суммарный балл по органолептической оценке (y_1), титруемую кислотность (y_2), процент выделившейся сыворотки при центрифугировании (y_3).

Графическая интерпретация уравнений регрессии показана на примере органолептических показателей (y_1) для кисломолочного продукта, содержащего 75% концентрата пахты (рисунок 8).

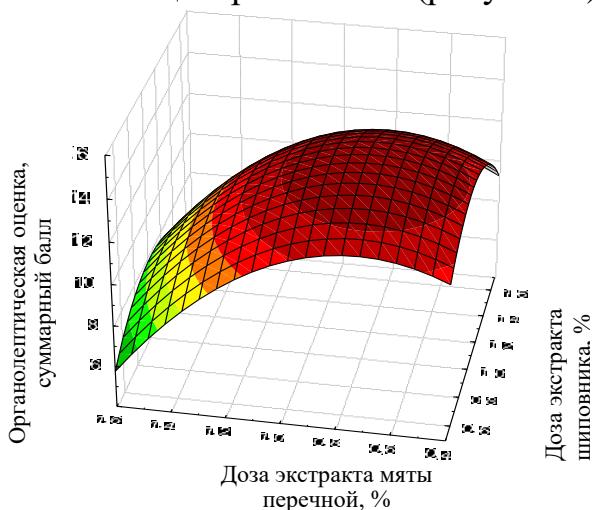


Рисунок 8 – Диаграмма поверхности отклика

Анализ поверхностей отклика

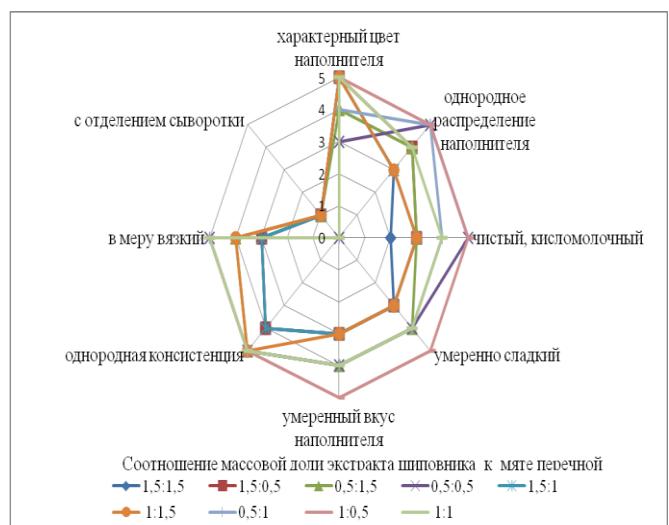


Рисунок 9 – Влияние дозы наполнителя на органолептические свойства продукта

Анализ поверхностей отклика и их сечений показал, что на выходные

параметры влияют оба фактора. Получены математические модели, адекватно отражающие зависимости изменения выходных параметров от исследуемых факторов: $y_1=3,44+12,3x_1+12x_2-6,67x_1^2+x_1x_2-8,67x_2^2$;

$$y_2=92,67+23x_1+7,33x_2-10x_1^2+8x_1x_2-4x_2^2;$$

$$y_3=32,78-32,67x_1-24x_2+27,3x_1^2-7x_1x_2+19,3x_2^2$$

Повышение дозы экстракта шиповника более 1% и мяты перечной более 0,5% приводит к ухудшению органолептических показателей продукта за счет излишней кислотности, и снижению влагоудерживающих свойств сгустков. На основании исследований определена рациональная доза экстракта шиповника 1% и мяты перечной – 0,5 %, что подтвердили результаты исследований органолептических свойств с использованием профильного метода (рисунок 9).

Организация производства функциональных кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и сыворотки

Технологическая схема производства кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией, представлена на рисунке 10.

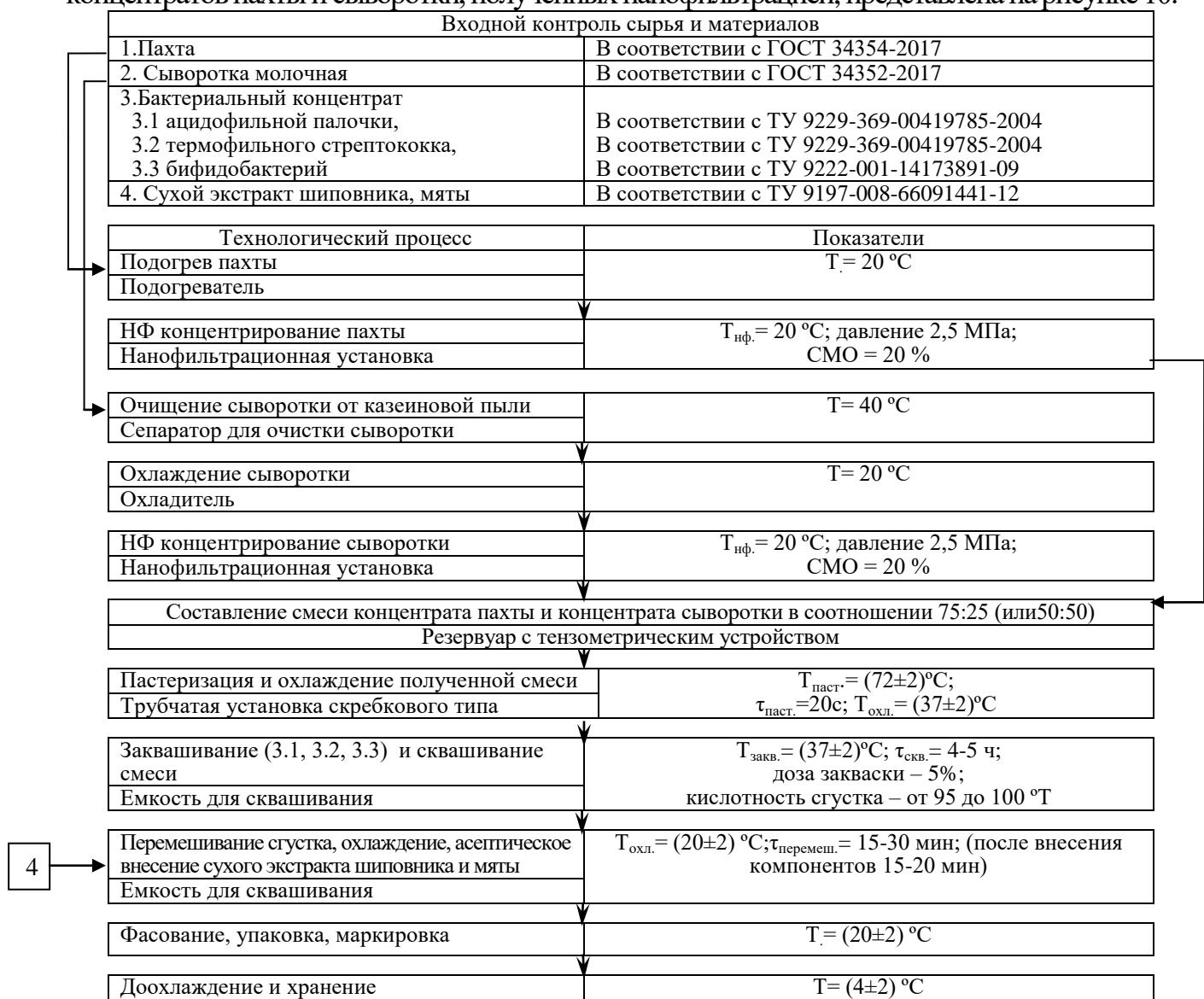


Рисунок 10 - Схема технологического процесса

На основании исследования органолептических, физико-химических,

структурно-механических и микробиологических показателей установлен срок годности функциональных кисломолочных продуктов в герметичной упаковке при температуре $(4\pm2)^\circ\text{C}$ – 10 суток. Содержание жизнеспособных клеток заквасочных микроорганизмов на конец срока годности составляет: бифидобактерий $(7,6\text{-}8,3)\cdot10^6$ КОЕ/см³, молочнокислых бактерий – $6,5\text{-}11\cdot10^8$ КОЕ/см³ в зависимости от вида молочной основы. Патогенные (в том числе сальмонеллы) отсутствовали в 25 г продуктов, бактерии группы кишечных палочек – в 0,1 г продукта, *Staphylococcus aureus* - в 1,0 г, количество дрожжей и плесеней - менее 1 КОЕ/г.

Изменение титруемой и активной кислотности кисломолочных продуктов в процессе хранения представлено на рисунке 11.

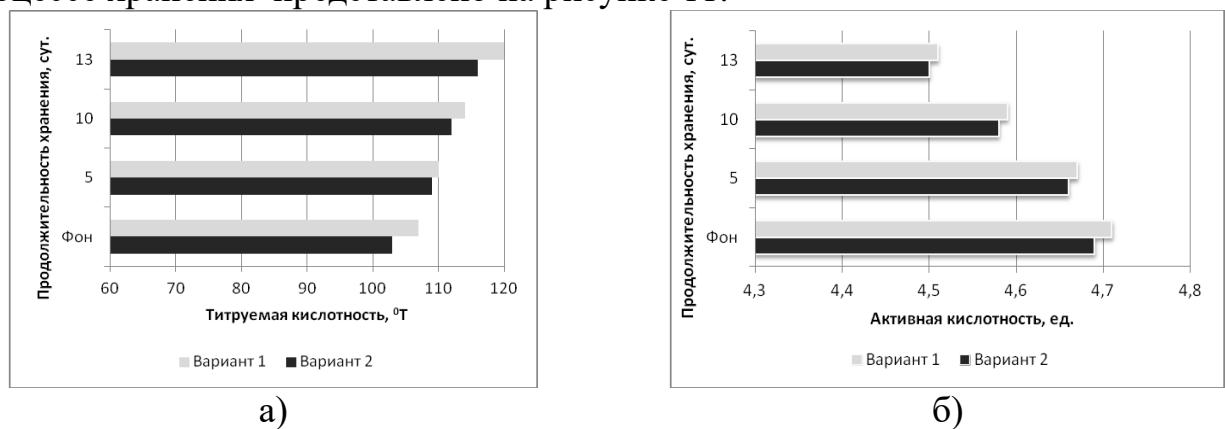


Рисунок 11 – Изменение кислотности кисломолочного продукта с экстрактом шиповника и мяты перечной в процессе хранения:
а) титруемой, ${}^\circ\text{T}$; б) активной, ед.

Полученные данные свидетельствуют о повышении титруемой кислотности в среднем на $8\text{-}10 {}^\circ\text{T}$ и понижении активной кислотности на 0,10-0,14 ед. на десятые сутки хранения в обоих образцах молочной основы продуктов, что не отразилось на изменении органолептических показателей.

Кисломолочные продукты на протяжении всего исследуемого срока хранения имели высокие органолептические показатели. Образцы с наполнителем отличались чистым кисломолочным вкусом и запахом, гармонично сочетающимся со вкусом и ароматом шиповника и мяты, однородную гомогенную консистенцию и светло-кремовый цвет, обусловленный внесенным наполнителем.

Исследование свойств образцов разработанного продукта

Результаты исследований аминокислотного состава продуктов представлены на рисунке 12.

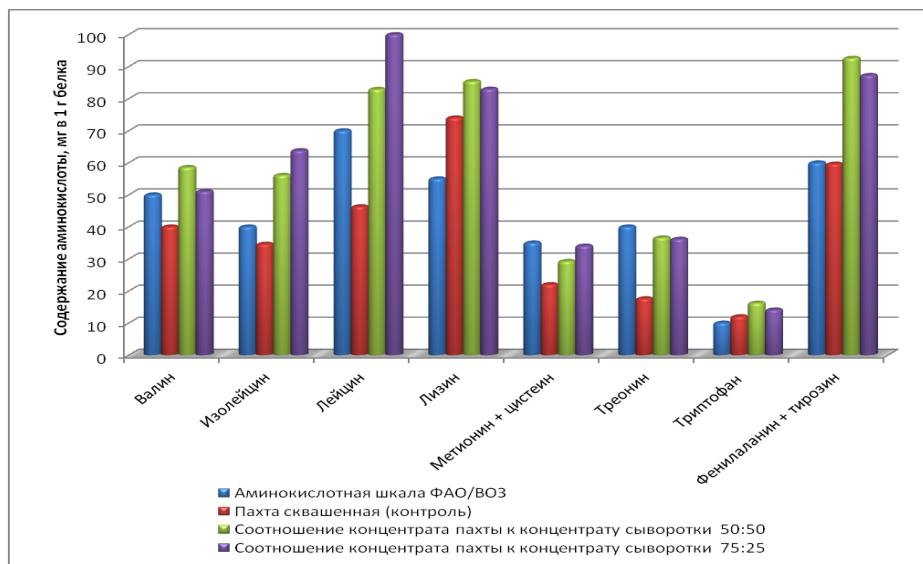


Рисунок 12 - Содержание незаменимых аминокислот

Содержание валина, метионина (+цистеина), треонина и триптофана в молочной основе с содержанием концентрата пахты 75% приближено к содержанию этих кислот в «идеальном белке»; молочная основа с содержанием концентрата пахты 50% обеспечивает содержание лейцина выше на 12,9%, изолейцина, лизина, фенилаланина (+тирофина) выше на 16-32,6% по сравнению с аминокислотной шкалой ФАО/ВОЗ. Показатель сбалансированности аминокислотного состава в продуктах повышается на 17-18%, индекс незаменимых аминокислот увеличивается на 44-46 % по сравнению с контролем, что свидетельствует о высокой биологической ценности разработанных продуктов.

Степень удовлетворения суточной потребности в животном белке при употреблении разовой порции упакованного продукта (200 г) составляет 24,8-29%, по отдельным незаменимым аминокислотам составляет 12,4-30%, что обеспечит поступление аминокислот в количестве, достаточном для биосинтеза белка в организме человека.

В соответствии с требованиями к функциональным продуктам (ГОСТ Р 55577-2013), полученные продукты являются функциональными по ряду отличительных признаков.

Таким образом, разработанные продукты могут служить основой здорового питания, так как содержат достаточное количество высокоценного белка, кальция, витаминов группы В. С введением в их состав лиофильно высушенных экстрактов шиповника и мяты можно прогнозировать поступление в организм ряда биологически активных веществ, обладающих антиоксидантными свойствами.

Расчет экономической эффективности подтвердил целесообразность использования концентратов пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, в производстве кисломолочных продуктов. Отпускная цена за 1 упаковку (200 г) составит 16-18 руб., что ниже стоимости продуктов-аналогов (йогуртов отечественного и зарубежного производства). При рентабельности 20%, ожидаемая прибыль на 1 тонну продукции составит 11,4-12,4 тыс. руб.

ВЫВОДЫ

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана технология функциональных кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования концентратов пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, в качестве молочной основы для производства кисломолочных продуктов функционального назначения.
2. Установлена прямая корреляционная зависимость показателей преломления, плотности концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией, от массовой доли сухих веществ (коэффициент корреляции (0,98-0,99), что позволяет использовать эти показатели для оперативного контроля за процессом нанофильтрации.
3. Установлено, что средний диаметр дисперсных частиц пахты и концентрата пахты с массовой долей сухих веществ 20%, полученного нанофильтрацией, совпадает и составляет (130 ± 30) нм, в процессе концентрирования размер ячеек пространственной сетки уменьшается с 4,2 мкм до 1,3 мкм. Средний диаметр дисперсных частиц сыворотки составляет (34 ± 7) нм, концентрата сыворотки с массовой долей сухих веществ 20%, полученного нанофильтрацией, – (58 ± 9) нм, в процессе концентрирования размер ячеек пространственной сетки уменьшается – с ($2,3\pm0,5$) мкм до ($1,8\pm0,5$) мкм.
4. Обосновано использование молочной основы с соотношением концентрата пахты к концентрату сыворотки 50:50 и 75:25, обеспечивающее содержание полноценного белка в кисломолочных продуктах в количестве 4,44-5,24%. Экспериментально подтверждена высокая биологическая ценность продуктов, коэффициент сбалансированности аминокислотного состава составляет 0,68-0,69.
4. Подобрана комбинация заквасочных культур *lactobacillus acidophilus*: *streptococcus thermophilus* : *bifidobacterium* в соотношении 1:1:3, обеспечивающая получение продуктов с пробиотическими свойствами, с хорошими органолептическими показателями и требуемыми реологическими свойствами.
5. Экспериментально установлено, что при сквашивании молочной основы, содержащей нанофильтрационные концентраты пахты и сыворотки, образуются глобулярные частицы размерами до 300 нм, а размер ячеек пространственной структуры составляет до 1,4 мкм, что позволяет получить в меру вязкие сгустки с хорошей влагоудерживающей способностью.
6. Исследовано изменение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей в процессе хранения продуктов и установлен срок годности в герметичной упаковке при температуре (4 ± 2)°С, равный 10 суткам. Содержание жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий (ацидофильной палочки и термофильного стрептококка) составляет не менее $6,5 \cdot 10^8$ КОЕ/г, бифидобактерий на конец срока годности - не менее $7,6 \cdot 10^6$ КОЕ/г, что подтверждает пробиотические свойства продуктов. Установлено, что 27,8-

31% энергетической ценности продукта обеспечивается полноценным белком; степень удовлетворения суточной потребности в кальции составляет 21,5 %, в витамине В2 – 21%, в витамине В5 – 17,6% при употреблении 100 г продуктов с экстрактами шиповника и мяты перечной, что подтверждает их функциональные свойства.

7. Разработаны ТУ 10.51.52-015-00493250-2018 и ТИИ 10.51.52-015-00493250-2018 на кисломолочные продукты на основе концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией. Проведена опытно-промышленная проверка разработанной технологии в условиях АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА имени Н.В. Верещагина.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Чекалева, А.В. Использование нанофильтрации в производстве кисломолочных продуктов повышенной биологической ценности / А. В. Чекалева (Боброва), Н. Г. Острецова // Молочная промышленность. – 2014. - №6. – С.32-33.
2. Острецова, Н. Г. Оперативный контроль массовой доли сухих веществ при нанофильтрации / Н. Г. Острецова, А. В. Чекалева (Боброва) // Молочная промышленность. – 2014. - №6. – С.34-35.
3. Боброва, А.В. Влияние состава комбинированной молочной основы на формирование структуры и качественные показатели йогурта / А.В. Боброва, Н.Г. Острецова // Вестник международной академии холода. – 2018. - №1. – С.33-40.
4. Боброва, А.В. Кисломолочные продукты на основе концентратов пахты и сыворотки / Н.Г. Острецова, А.В. Боброва // Молочная промышленность. – 2019. - №5. – С. 54-55.

Статьи и материалы конференций

5. Острецова, Н.Г. Использование концентратов пахты, полученных обратным осмосом и нанофильтрацией, в производстве йогурта [Электронный ресурс] / Н.Г. Острецова, А.В. Чекалева (Боброва) // Молочнохозяйственный вестник. – Вологда-Молочное. – 2012. - №3 (7), IV кв. – С. 77-83.
6. Острецова, Н.Г. Характеристика концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией / Н.Г. Острецова, А.В. Чекалева (Боброва) // Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика». - Воронеж: ВГЛТА. – 2013. - №2 (2). – С.118-122.
7. Чекалева, А.В. Переработка вторичного молочного сырья путем нанофильтрации / А.В. Чекалева (Боброва), Н.Г. Острецова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции Часть II «Наука и образование в современном мире». - Москва - 2013. – С.137-139.
8. Чекалева, А.В. Состав и свойства концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией / А.В. Чекалева (Боброва), Н.Г. Острецова // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития». - Красноярск: ФГБОУ ВПО Красноярский государственный аграрный университет. - 2013. – С. 148-150.

9. Чекалева, А.В. Применение мембранных технологий при переработке вторичного молочного сырья // А.В. Чекалева (Боброва), Н.Г. Острецова // Сборник статей V Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные процессы в АПК». - Москва: РУДН. - 2013. – С. 129-132.
10. Острецова, Н.Г. Разработка технологии кисломолочного продукта. Кисломолочный продукт на основе концентраты пахты, полученного нанофильтрацией / Н.Г. Острецова, А.В. Чекалева (Боброва) // LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrucken, Deutschland/Германия,- 2013. – С.100.
11. Острецова, Н.Г. Исследование влияния состава комбинированной молочной основы на активность развития заквасочной микрофлоры [Электронный ресурс] / Н.Г. Острецова, А.В. Чекалева (Боброва) // Молочнохозяйственный вестник. - Вологда-Молочное. – 2014. - №1 (13), I кв. – С. 71-77.
12. Фатеева, Н.В. Технико-экономическая оценка производства кисломолочного продукта на основе концентраты пахты /Н.В. Фатеева, А.В. Чекалева (Боброва), Н.Г. Острецова // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Развитие технических наук в современном мире», Воронеж. - 2014. – С. 51-53.
13. Боброва, А.В. Производство функциональных продуктов на основе концентратов вторичного молочного сырья - приоритетное направление развития молочной промышленности/А.В. Боброва, Н.Г. Острецова //Молодые исследователи – развитию молочнохозяйственной отрасли: Сборник научных трудов по результатам работы всероссийской научно-практической конференции. – Вологда–Молочное. - 2017. – С. 27-33.
14. Острецова, Н.Г. Проектирование состава и свойств кисломолочного продукта на основе вторичного молочного сырья / Н.Г. Острецова, А.В. Боброва // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Том 2. Часть 2. Технические науки: Сборник научных трудов по результатам работы III международной молодежной научно-практической конференции. – Вологда–Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА. - 2018. – С. 172-177.
15. Боброва, А.В. Изучение влияния состава закваски на свойства ферментированных продуктов на основе концентратов пахты и молочной сыворотки / А.В. Боброва, Н.Г. Острецова/ Молочнохозяйственный вестник.– Вологда-Молочное. – 2018. - №4 (32), IV кв. – С. 53-63.

Изобретения

16. Пат. 2580023 Российская федерация, МПК A23C 23/00, A23C 9/133, A23C 21/00, A23C 17/00. Способ получения кисломолочного продукта из концентратов вторичного молочного сырья / Острецова Н.Г., Чекалева А.В. (Боброва); заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина». - № 2015107387/10; заявл. 03.03.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10. – 14 с.