

Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие
«Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного
предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по продовольствию»

На правах рукописи

Дымар Олег Викторович

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ
ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА**

**Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук**

по специальности – 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных
продуктов и холодильных производств

Научный консультант:

Заслуженный деятель науки Республики

Беларусь, член-корреспондент НАН Беларуси,

доктор технических наук, профессор

Ловкис Зенон Валентинович

Минск – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА	19
1.1 Системный анализ концепции организации переработки молочной сыворотки	19
1.2 Анализ исследований в области методов и технологий переработки молочной сыворотки	41
Выводы по первой главе	54
Глава 2 СТРУКТУРА РАБОТЫ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	55
2.1 Структурная схема работы	55
2.2 Методы определения физико-химических показателей	56
2.3 Математическая обработка экспериментальных данных	62
2.4 Метрологические характеристики методики определения массовой доли золы в молоке и молочной продукции	64
2.5 Создание лабораторно-технологического комплекса	72
Выводы по второй главе	78
Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА	79
3.1 Концептуальные подходы к снижению термического воздействия на белковую фракцию молочного сырья	79
3.2 Процесс нанофильтрационного концентрирования сыворотки на мембранных модулях «РМ Нанотех»	89
3.3 Технологические пределы применения ионного обмена	99
3.4 Коррекция минерального состава молочной сыворотки методом электродиализа	104

3.5 Изучение роли белков в образовании поверхностного слоя при электродиализе	121
3.6 Направления использования концентрата солей после электродиализа	130
3.7 Технологические аспекты кристаллизации лактозы при производстве сухих продуктов на базе молочной сыворотки	136
3.8 Методы изоляции молочных белков	142
Выводы по третьей главе	157
Глава 4 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПРОИЗВОДСТВА	160
4.1 Технологии получения муссов, напитков, паст и желе из молочной сыворотки	160
4.2 Технологические аспекты использования микропартикулятов сывороточных белков	166
4.3 Технология переработки мелассы, получаемой при производстве лактозы	178
Выводы по четвертой главе	185
Глава 5 ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГРУППЫ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ	187
5.1 Сыворотка обогащенная лактатами	187
5.2 Сывороточно-жировые концентраты	193
5.3 Заменители молока	200
5.4 Концентрат бактериальный сухой «Биомикс-вет» для ЗЦМ и других кормовых продуктов	206
5.5 Кормовая добавка на основе побочного продукта микробиологического производства, полученного при производстве бактериальных заквасок	210

Выводы по пятой главе	221
Глава 6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	222
6.1 Разработка комплексного организационно-технологического подхода для повышения совокупной эффективности переработки молока	222
6.2 Оценка эффективности проведенных исследований в области создания технологий пищевых и кормовых продуктов	232
Выводы по шестой главе	240
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	241
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	247
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	253
ПРИЛОЖЕНИЕ А	279
Список публикаций соискателя по теме диссертации	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	306
Перечень стандартов и методик, использованных при проведении анализов и обработке их результатов	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Молоко и молочные продукты являются основными продуктами питания населения Беларуси. Среднегодовое потребление в пересчете на молоко составляет около 245 кг на душу населения, а производство – 697 кг. Молочный рынок является высококонкурентным, а производство целевого готового продукта низкомаржинальным. В структуре производства значительная часть молока (до 50 %) используется для выработки сыров, творога, казеина, изготовление которых неизбежно связано с получением побочных продуктов, в основном, молочной сыворотки. Учитывая высокую биологическую ценность молочной сыворотки, а также значительные объемы получения, достичь высокой рентабельности производства без ее рационального использования затруднительно. Уровень и эффективность использования вторичных молочных ресурсов обеспечивают прибыль предприятия. Правильно организованная схема переработки молочной сыворотки является ключевым аспектом в решении задач по снижению экологической нагрузки молокоперерабатывающих предприятий.

Рациональное применение современных методов и технологий переработки молочного сырья обеспечивает стабильную и прибыльную работу предприятия, невзирая на изменение конъюнктуры цен на выпускаемую продукцию. Технологическая гибкость производства позволяет на уровне предприятие/холдинг провести оптимизацию ассортимента выпускаемой продукции с любой заданной целью – это может быть переработка максимального количества сырья (актуально в сезон «большого молока») или получение максимального дохода или прибыли. В переработке молока-сырья до настоящего времени наиболее остро стоит вопрос переработки молочной сыворотки. Мировой опыт показывает, что эффективному решению данной проблемы способствует создание специализированных предприятий по ее переработке. По такому пути развивается и белорусская молочная промышленность.

Степень разработанности темы.

Каждый период развития молочного рынка характеризуется определенными тенденциями: борьба за сырье в 90-е годы прошлого века, борьба за качество продукции – в первое десятилетие нынешнего века. Основным трендом, который ощущается на предприятиях Беларуси в настоящее время, является максимальное внимание к ресурсо- и энергосбережению. Основы современных ресурсосберегающих технологий были разработаны еще в конце 70-х – начале 90-х годов выдающимися учеными Н.Н. Липатовым, В.Д. Харитоновым, Ф.А. Вышемирским, И.А. Евдокимовым и др. Теоретические принципы и практические подходы к переработке молочной сыворотки и обезжиренного молока представлены в работах А.Г. Храмцова, Е.И. Мельниковой, Ю.Я. Свириденко, Г.Б. Гаврилова, Червецова В.В., Вагн Вестергаарда (Vang Westergaard), Ульрих Кулоцик (Ulrich Kulozik) и др. Однако недостаток технического оснащения заводов и сложившаяся на тот период времени экономическая ситуация (в 80-е годы отсутствие стимула к модернизации по причине низких цен на энергоносители, а в 90-е годы – необходимость просто выживать) не позволили сполна воспользоваться плодами научных трудов, и многие перспективные разработки просто не были внедрены.

Подход к ресурсосбережению в современных условиях это, прежде всего, решение вопросов переработки молочной сыворотки. Большое внимание решению этой проблемы было уделено в рамках выполнения исследований, направленных на научно-техническую поддержку выполнения «Программы переработки молочной сыворотки и производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь на 2008-2010» (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 03 сентября 2008 г. № 1281). В ходе реализации проектов в РУП «Институт мясо-молочной промышленности» была создана лабораторно-технологическая база, проведен комплекс теоретических и прикладных исследований, позволивший разработать технологии переработки и производства сухой деминерализованной сыворотки, производства жидких и пастообразных продуктов, муссов и желе из сыворотки. Создана технология производства

заменителя цельного молока для кормления телят, сыворотки обогащенной лактатами, сывороточно-жирового концентрата. В рамках отдельных проектов разработаны технологические основы получения на мембранных установках концентратов молочных белков методом ультрафильтрации и концентрирования сыворотки методом нанофильтрации.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Тема диссертации соответствует перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь. Работа была выполнена в соответствии с планом НИР РУП «Институт мясо-молочной промышленности», в том числе в рамках выполнения заданий следующих государственных программ:

ГНТП «Агропромкомплекс – возрождение и развитие села» на 2006-2010 годы: 6.12. «Разработать и внедрить комплекс оборудования для охлаждения молока на ферме на основе тонкослойного поточного теплообменника»; 6.27. «Разработать и внедрить технологию сыворотки сухой обогащенной лактатами»; 6.42. «Разработать и освоить технологию производства продукта молкосодержащего сухого на основе молочной сыворотки с использованием растительных жиров отечественного изготовления». ГНТП «Агропромкомплекс – устойчивое развитие» на 2011-2015 годы: 5.3. «Разработать инновационные ресурсосберегающие технологии производства молочной продукции с использованием современных баромембранных, электромембранных методов и процессов, обеспечивающих минимизацию отходов производства» – 5.3.1. «Разработать и внедрить новые технологии производства молочных продуктов с использованием электро- и баромембранных методов обработки молочного сырья»; 5.3.2. «Разработать и освоить производство нового вида жидкого молочного продукта для спортивного питания с содержанием белка в сухом обезжиренном молочном остатке не менее 60 % на основе обезжиренного молока и молочной сыворотки с использованием баромембранных методов. Разработать методические рекомендации по определению расхода основного сырья и научно обосновать выхода продукции при производстве сгущенных и сухих молочных

продуктов». ГНТП «Агропромкомплекс» на 2013-2015 годы: (подпрограмма «Агропромкомплекс – устойчивое развитие») 5.15. «Разработать и освоить технологию производства сухого молока, стандартизированного по белку». ГП «Импортозамещения» на 2006-2010 годы: АН 08.07. «Разработать и внедрить технологию производства заменителей цельного молока на основе компонентов молочной сыворотки с содержанием молочного сырья не менее 80 %». ОНТП «Импортозамещающая продукция» на 2011-2015 годы: АН 12.07. Разработать и освоить технологию производства молокосодержащего белково-жирового концентрата для приготовления ЗЦМ; 14.06. «Разработать технологию санитарной обработки и современный отечественный препарат для дезинфекции ионообменных и электродиализных установок, используемых при переработке молока и молочных продуктов». ГП «Инновационные биотехнологии» на 2010-2012 годы и на период до 2015 года»: 4.7. «Разработка технологии и организация производства кормовой добавки на основе продуктов микробного синтеза производства бактериальных концентратов». Отдельный проект фундаментальных и прикладных научных исследований: «Разработка научно-практических основ низкотемпературной («Low-heat») технологии производства сухих молочных продуктов». ГППНИ «Рациональное питание»: 2.26. «Исследование особенностей производств концентрата молочного белка с использованием баромембранных методов». Научно-техническая программа Союзного государства «Отходы»: Раздел Б «Создание ресурсосберегающих технологий и оборудования для комплексной переработки молочной сыворотки». ГПНИ «Инновационные технологии в АПК» на 2011-2015 годы: 9.5.23. «Изучение особенностей процесса деминерализации молочного сырья на ионообменных установках и его селективной обработки методом гельфильтрации»; 9.5.25. «Исследование процессов мембранного концентрирования и сушки микробной массы при изготовлении бактериальных концентратов»; 9.5.32. «Научно-практическое обоснование перспективных ресурсоэффективных производств быстрорастворимых сухих молочных продуктов»; 5.63. «Исследование термостабильности молочного сырья в

зависимости от степени его деминерализации»; 5.69. «Исследование технологических приемов фракционирования белков молочных продуктов в целях определения направления использования белковых фракций в технологиях производства пищевых продуктов».

Цель и задачи исследования.

Цель работы – исследование теоретических и разработка научно-практических основ комплексного использования побочных продуктов переработки молока

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

– Провести системный анализ проблемы побочных продуктов переработки молока, обосновать перспективные направления развития технологий их использования, определить целевые сегменты рынка. Разработать концепцию снижения термического воздействия на белковую фракцию молочного сырья в процессе переработки.

– Определить технические и технологические пределы применимости нанофильтрационной обработки различных видов молочной сыворотки. Установить зависимости производительности оборудования от основных технологических факторов.

– Разработать научно-практические основы коррекции минерального состава мелассы и различных видов молочной сыворотки на основе селективных методов, определить технологические пределы изменения физико-химических свойств перерабатываемого сырья в ходе процессов. Изучить динамику процесса кристаллизации лактозы при производстве сыворотки сухой, разработать способ ее непрерывной кристаллизации.

– Провести экспериментально-технологические исследования по направлениям использования сыворотки в сегментах напитки, муссы, желе, пасты для обеспечения комплексной переработки молочного сырья с максимальной эффективностью и создать их ассортимент.

– Создать систему технологий производства кормовых продуктов на основе молочной сыворотки. Разработать технологии переработки кислых видов молочной сыворотки с получением сыворотки сухой обогащённой лактатами и сывороточно-жирового концентрата. Создать ассортимент заменителей молока для кормления молодняка крупного рогатого скота. Разработать технологии пробиотической добавки молочнокислых бактерий для кормовых продуктов и кормов на основе бактофугата.

– Разработать технологические приемы, обеспечивающие минимизацию отделения молочной сыворотки при производстве казеина, сыра и творога путем применения ультрафильтрационного концентрирования смесей для их выработки. Изучить направления использования сывороточных белков в микропартикулированной форме при производстве высокобелковых молочных продуктов.

– Оценить технико-технологическую и экономическую эффективность промышленного освоения разработанных технологий использования побочных продуктов переработки молока.

Научная концепция. Научно-технологическое решение проблемы рационального использования продуктов переработки молока, основанное на системном анализе совокупности организационных, технических и технологических факторов, позволит определить вектор развития переработки молочного сырья и обеспечить безотходность его применения.

Научная новизна.

Научно обоснована необходимость создания единой системы переработки молочной сыворотки в Республике Беларусь, базирующейся на региональных производственных кластерах, что позволяет максимально полно использовать технологические возможности по развитию молокоперерабатывающей отрасли в направлении комплексной переработки и использования молочного сырья и разработаны перспективные технологии комплексного использования продуктов переработки молока.

Разработаны и научно обоснованы лабораторные методы изоляции белков молочного сырья, основанные на комбинированном осаждении при заданных уровнях рН среды и температуры с последующим центрифугированием и мембранной обработкой.

Установлены зависимости производительности полипиперазинамидных нанофильтрационных элементов от основных технологических факторов процесса – температуры, давления и концентрации сухих веществ обрабатываемого сырья, что позволило разработать научно обоснованные рекомендации их применения при переработке молочной сыворотки. Показаны предельные уровни снижения зольности сывороток (уровень деминерализации) в процессе нанофильтрации: до 35 % для подсырной и до 28 % для творожной.

Определены рациональные режимы работы электромембранного оборудования, обеспечивающие создание ресурсоэффективных технологических потоков переработки неоднородных по минеральному составу и уровню кислотности продуктов переработки молока и получение качественной и безопасной продукции на их основе. Последовательное нанофильтрационное концентрирование и электродиализ позволяют осуществлять совместную переработку подсырной сладкой и соленой сывороток с получением продукта, отвечающего требованиям к сухой сыворотке, деминерализованной до 90 %. Установлена зависимость содержания лактат-ионов в продукте от времени обработки, и ее характер описывается экспоненциальными уравнениями регрессии.

Получено математическое уравнение массозарядного коэффициента, характеризующего скорость деминерализации в зависимости от этапа процесса электродиализа для мелассы молочной, представляющей собой многокомпонентный диссоциированный раствор.

Проведен мониторинг и установлены эмпирические зависимости кинетики физико-химического состава молочной сыворотки от режимных параметров технологических процессов ее переработки, позволившие разработать

современные технологические подходы к производству новых продуктов и установить технические требования к ним.

Установлены специфические особенности поведения сухого концентрата сывороточных белков в микропартикулированной форме в системах молочных смесей, обеспечившие разработку перспективных технологий производства белковых низкожирных продуктов функционального назначения.

Научно обоснован способ непрерывной кристаллизации лактозы в последнем корпусе вакуум-выпарного аппарата циркуляционного типа при производстве сыворотки сухой кристаллизованной, заключающийся в обеспечении уровня пересыщения раствора более 1,1 и внесения затравки в поток циркулирующего в аппарате продукта, позволяющий сократить время технологического процесса ее выработки и номенклатуру оборудования в производственной линии.

Научно обоснованы способы применения молочной сыворотки, продукции и отходов биотехнологического производства (продуктов микробного синтеза) в технологиях производства кормовых продуктов (сыворотки сухой обогащенной лактатами, сывороточно-жирового концентрата), ассортимента заменителей молока, пробиотической и белковой кормовой добавки для сельскохозяйственных животных, высокая кормовая и экономическая эффективность которых подтверждена зоотехнологическими исследованиями.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Получены новые теоретические знания о комплементарности производственных процессов переработки молочного сырья, позволяющие установить технологическую совместимость продуктов его переработки, разработать организационно-технологические основы создания энерго- и ресурсосберегающих потоков производств, обеспечивающих повышение уровня целостности функционирования и конкурентоспособности хозяйствующих субъектов в рамках производственно-технологических кластеров.

Совокупность теоретических разработок и результатов эмпирических исследований позволили создать и внедрить систему инновационных технологий

переработки молочной сыворотки. Разработано более 30 видов новых пищевых и кормовых продуктов на основе продуктов переработки молока и технологий их производства. Проведен полный цикл опытно-конструкторских работ по 9 образцам технологического оборудования, которым в ходе приемочных испытаний присвоена литера «О₁».

По результатам научных исследований и опытно-конструкторских разработок в РУП «Институт мясо-молочной промышленности» создан лабораторно-технологический комплекс, позволяющий проводить глубокие технологические исследования новых молочных пищевых и кормовых продуктов, отработку технологических режимов их производства, обучающие мастер-классы, что ускорило разработку и внедрение в промышленное производство современных методов и подходов к рациональному использованию продуктов переработки молока. Результаты диссертационных исследований широко внедрены в производство на молокоперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь с общим объемом производства более 59,7 млн USD.

Методология и методы исследования.

В работе для определения физико-химических и микробиологических показателей сырья, полуфабрикатов и конечных продуктов использованы стандартные арбитражные и модифицированные методы исследования. Обработка полученных данных производилась с применением общепринятых методов статистической обработки эмпирических данных и построения математических моделей процессов.

Положения, выносимые на защиту.

1) Методы изоляции белков молочного сырья, основанные на комбинированном осаждении при заданных уровнях рН среды и температуры с последующим центрифугированием и мембранной обработкой, обеспечивающие получение отдельных фракций β -лактоглобулин и α -лактальбумин для продуктов функциональной направленности.

2) Предельные уровни концентрирования молочного сырья с использованием нанофильтрационных полипиперазинамидных мембран

(производство ЗАО «РМ Нанотех», г. Владимир, Российская Федерация), кинематика процесса для различных типов молочной сыворотки в зависимости от содержания сухих веществ в обрабатываемом продукте, температуры, давления, продолжительности обработки:

- при изменении концентрации сухих веществ от 6,0 до 18,0 % производительность установки снижается в 6,5 раз;
- рациональная рабочая температура процесса – 15 °С;
- для подсырной сыворотки предел концентрирования при давлении 2,0 МПа – 21,2 %, для творожной – 18,8 %;
- производительность в первый час работы нанофильтрационной установки снижается до уровня 70-85 % от первоначальной, причем основная часть потерь производительности приходится на первые 30 мин работы.

3) Закономерности электродиализной обработки подсырной, подсырной соленой и творожной сывороток, определяющие динамику изменения минерального профиля продукта при различной степени деминерализации до 90 %, что в совокупности обеспечило разработку рекомендаций по коррекции минерального состава продуктов переработки молочной сыворотки.

Физико-химические показатели продуктов электродиализной обработки для подсырной молочной сыворотки, в том числе минеральный профиль, характеризующийся снижением содержания фосфатов с 880 до 160 мг/дм³, хлора с 1640 мг/дм³ до следов, натрия с 680 до 60 мг/дм³, калия с 3150 до 440 мг/дм³, кальция с 536 до 182 мг/дм³, магния со 100 до 57 мг/дм³, а также микроэлементов при деминерализации от 0 до 90 % в динамике.

Уровень белковой загрязненности мембран электродиализной установки 0,0335-0,120 кг/м², представленной преимущественно отложением казеиновой фракции (до 80 %) при ее содержании в обрабатываемом продукте до 30 %.

4) Способ непрерывной кристаллизации лактозы во втором корпусе вакуум-выпарного аппарата циркуляционного типа при производстве сыворотки сухой кристаллизованной, заключающийся в обеспечении уровня пересыщения

раствора 1,1-1,3 и внесения затравки в поток циркулирующего в аппарате продукта.

5) Технологические решения по производству новых пищевых продуктов на основе молочной сыворотки – напитков, муссов, желе и пастообразных продуктов, – включающие уровень содержания сухих веществ сыворотки в пределах 7,5-10 % для напитков при предельном уровне кислотности 110 °Т, до 10 % – для желе, до 15 % – для муссов. Для пастообразных продуктов предельный уровень замещения молочного жира на комбинацию растительных масел составляет 60 %.

Рациональная дозировка сухих микропартикулятов сывороточных белков в технологиях производства молочнобелковых низкожирных продуктов, обеспечивающая органолептические показатели полножирных изделий, и позволяющая позиционировать их для функционального питания, составляет для мягких термокислотных сыров из обезжиренного молока 2% от массы молока при температуре пастеризации 92 °С, для творога традиционной консистенции – 1-2%, для творожных продуктов мажущейся консистенции – до 3%.

6) Технологические операции получения сухой мелассы, включающие разноуровневую электродиализную обработку с последующим сгущением и распылительной сушкой, позволившие получить деминерализованный сухой продукт, физико-химические показатели которого схожи с показателями УФ-пермеата сыворотки, а органолептические показатели – сухого обезжиренного молока, и направления ее использования на пищевые цели.

7) Комплекс технологий производства кормовых продуктов: сыворотки сухой обогащенной лактатами, концентрата сывороточно-жирового, ассортимента заменителей молока, концентрата бактериального сухого «Биомикс-Вет», кормовой добавки на основе бактофугата, основанных на применении современных баромембранных и биотехнологических принципов, обеспечивших импортозамещение в группе данных продуктов.

Научно обоснованные принципы применения концентрата солей, получаемого в процессе электродиализной обработки различных видов молочной

сыворотки, в качестве микроудобрения для многолетних трав, позволяющего получить прибавку урожайности зеленой массы 2,7-8,0 %, что в совокупности дает прибавку урожайности за все время укоса свыше 30 ц/га.

8) Технологические приемы, направленные на сокращение объемов получаемой сыворотки при производстве казеина, творога, сыра (на 25-30%), основанные на применении ультрафильтрации молока и получении смеси с содержанием белка 4,5-5,0 % для производства казеина, 3,8-4,2 % – творога и сыра, и использовании получаемого УФ-пермеата для нормализации по белку сухих и жидких молочных продуктов.

9) Экономическая оценка организационно-технологических мероприятий, реализованных в ходе промышленного освоения комплекса разработанных технологий, показывающая преимущества системного подхода к организации использования продуктов переработки молока и выражающаяся в увеличении общей выручки от продажи переработанного сырья до 1,5 раз без существенного увеличения капитальных и текущих затрат.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Достоверность результатов базируется на данных, полученных с использованием классических арбитражных и современных высокоточных методов, характеризующих технологические режимы работы оборудования, и с применением актуальных методов исследования физико-химических показателей сырья, промежуточных и готовых продуктов, с их последующей статистической обработкой. Полученные данные характеризуются высокой воспроизводимостью, статистически доказана адекватность разработанных математических моделей. Разработанные теоретические положения и предложенные практические рекомендации согласуются с основополагающими принципами научного анализа и результатами в смежных отраслях науки.

Апробация работы. Основные положения, выводы и рекомендации были доложены диссертантом на Ученом Совете РУП «Институт мясо-молочной промышленности», НТС РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию», НТС Минсельхозпрода Республики Беларусь, на тематических

семинарах для специалистов отрасли, проводимых на базе РУП «Институт мясо-молочной промышленности», в период 2004-2015 годы.

Основные результаты работы доложены и опубликованы в материалах международных и национальных научно-технических конференций в Республике Беларусь, Российской Федерации и Республике Чехия: Минск, УО БГАТУ (1997, 2002, 2009, 2013), РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), УО БНТУ (2010), НАН Беларуси (2010); Могилев, УО МГУП (2000, 2005, 2007, 2011, 2012, 2013); Гродно, УО ГГАУ (2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015); Прага (2009); Горки, УО БГСХА (2009, 2013); Краснодар, КубГТУ (2009, 2012); Воронеж, ФГОУ ВПО ВГАУ (2010, 2013, 2015); Великие Луки, ФГОУ ВПО ВГСХА (2010, 2011, 2012, 2013); Казань (2010); Москва, УО РУДН (2011, 2013), Молочная и мясная индустрия (2013); Ставрополь, ФГАОУ ВПО СКФУ (2011, 2015); Троицк, УГАВМ (2011); Владикавказ, ФГБОУ ВО «Горский ГАУ» (2012); Магнитогорск (2012); Пермь, ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА» (2012, 2014); Ярославль, ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА» (2012, 2014); Уфа, ФГБОУ ВПО «Башкирский ГАУ» (2013); Смоленск, ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА» (2014), Ставрополь, ФГАОУ ВПО «СКФУ» (2015), Москва, «Молочная индустрия 2016».

Личный вклад соискателя. Диссертация является самостоятельной научной работой, обобщающей результаты теоретических и экспериментальных исследований, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, в которых автор принимал непосредственное участие как научный руководитель и/или непосредственный исполнитель. Работы по определению эффективности разработанных кормовых продуктов были проведены в сотрудничестве со специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству». Исследование эффективности использования концентрата солей после электродиализа в качестве микроудобрения проводили на базе РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» при непосредственном участии сотрудников НАВ ОДО «Сейбит».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 156 работ, в том числе 5 монографий (3 в соавторстве), 11 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации (1 в соавторстве), 35 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Республики Беларусь (30 в соавторстве), 39 статей в отраслевых периодических изданиях (23 в соавторстве), в соавторстве разработаны 3 методические издания.

Получено 15 патентов, из них 7 патентов на изобретение Республики Беларусь (4 в соавторстве) и 8 патентов на полезную модель Республики Беларусь (5 в соавторстве). Разработано и зарегистрировано 30 технических условий и 35 изменений к ним, 4 типовых технологических инструкций, 25 технологических инструкций и 21 изменение к ним, 2 технологических регламента по производству новых пищевых и кормовых продуктов переработки молока.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 310 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка и приложения. Работа содержит 51 рисунок и 105 таблиц. Список использованных источников включает 292 наименования. Список публикаций соискателя включает 156 наименований и 15 патентов.

Глава 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА

1.1 Системный анализ концепции организации переработки молочной сыворотки

1.1.1 Актуальность проблемы переработки молочной сыворотки

К концу 1980-х годов Республика Беларусь прочно занимала лидирующее место в промышленной переработке молочной сыворотки на пищевые и кормовые цели. Доля промышленной переработки сыворотки в 1982-1986 гг. достигла 65-70 % в основном за счет производства молочного сахара с альбуминным молоком, обогащенной сыворотки для корма сельскохозяйственных животных, кроме того, что особенно важно, сыворотка использовалась в хлебопекарной и кондитерской промышленности (около 15 %). Существовала неразрывная связь науки и производства, многое внедрялось в промышленность, а разработка новейших технологий переработки вторичных молочных ресурсов являлась основной задачей Белорусского филиала ВНИМИ. В указанный период активно начали развиваться направления биохимического преобразования сырья и мембранной селективной обработки. С этой целью были построены специализированные производства, закуплены отдельные технологические линии. В г. Воложине (Минская область) было начато строительство завода БиоЗЦМ, инновационного даже по сегодняшним меркам. Основной идеей, заложенной в основу его функционирования, являлась биоконверсия лактозы в белок при помощи специально подобранных штаммов дрожжей [90]. Фактически, это предприятие шестого технологического уклада. К сожалению, в связи с изменением экономической ситуации, работы в данных направлениях были свернуты, а оборудование по большей части демонтировано. По причине кризиса, сопутствующего распаду СССР, и отсутствия внутреннего спроса прекратилось и производство молочного сахара. К 2005 г. сохранились лишь пять цехов этой направленности (г. Береза, г. Щучин, г. Кобрин, г. Столин, г. Мстиславль) и один цех по производству рафинированного молочного сахара в городе Минске на

Городском молочном заводе № 2.

Тем не менее, развитие молочной промышленности требовало решения вопроса переработки сыворотки. Общий объем молочной сыворотки, полученной при производстве творога, сыра и казеина, в Беларуси за 2005 г. составил 1 360 069 т, в том числе творожной – 284 782 т, подсырной – 729 030 т, казеиновой – 346 256 т. При этом доля ее промышленной переработки не превышала 15 %. Около 50 % сыворотки в натуральном виде направлялось на корм сельскохозяйственным животным, а остальная, в основном казеиновая и частично творожная, утилизировалась. Прогноз на 2015 год показывал, что с учетом тенденций развития отрасли в стране будет произведено от 2 000 до 2 500 тыс. т молочной сыворотки.

Таким образом, проблема переработки молочной сыворотки является актуальной и требующей комплексного подхода к ее решению. В целом по республике в сфере промышленной переработки молочной сыворотки позитивные сдвиги наблюдаются начиная уже с 2000 г., чему способствует общий подъем развития молочной промышленности. При этом вырабатывался достаточно широкий ассортимент продукции из сыворотки: сыворотка сгущенная, концентрированная, сухая, напитки из сыворотки, альбуминовое молоко и альбуминовый творог, КСБ-УФ, «Белакт/БК-лакт», молочный сахар, спирт из молочной сыворотки, а на его основе винные напитки. В настоящее время сухую молочную сыворотку производят более 20 молочных заводов, и вскоре еще ряд предприятий освоят ее сушку. Ряд низовых заводов молочную подсырную сыворотку сгущают и направляют другим предприятиям на сушку. Наметились положительные тенденции в реализации сухой и сгущенной сыворотки на внешнем рынке.

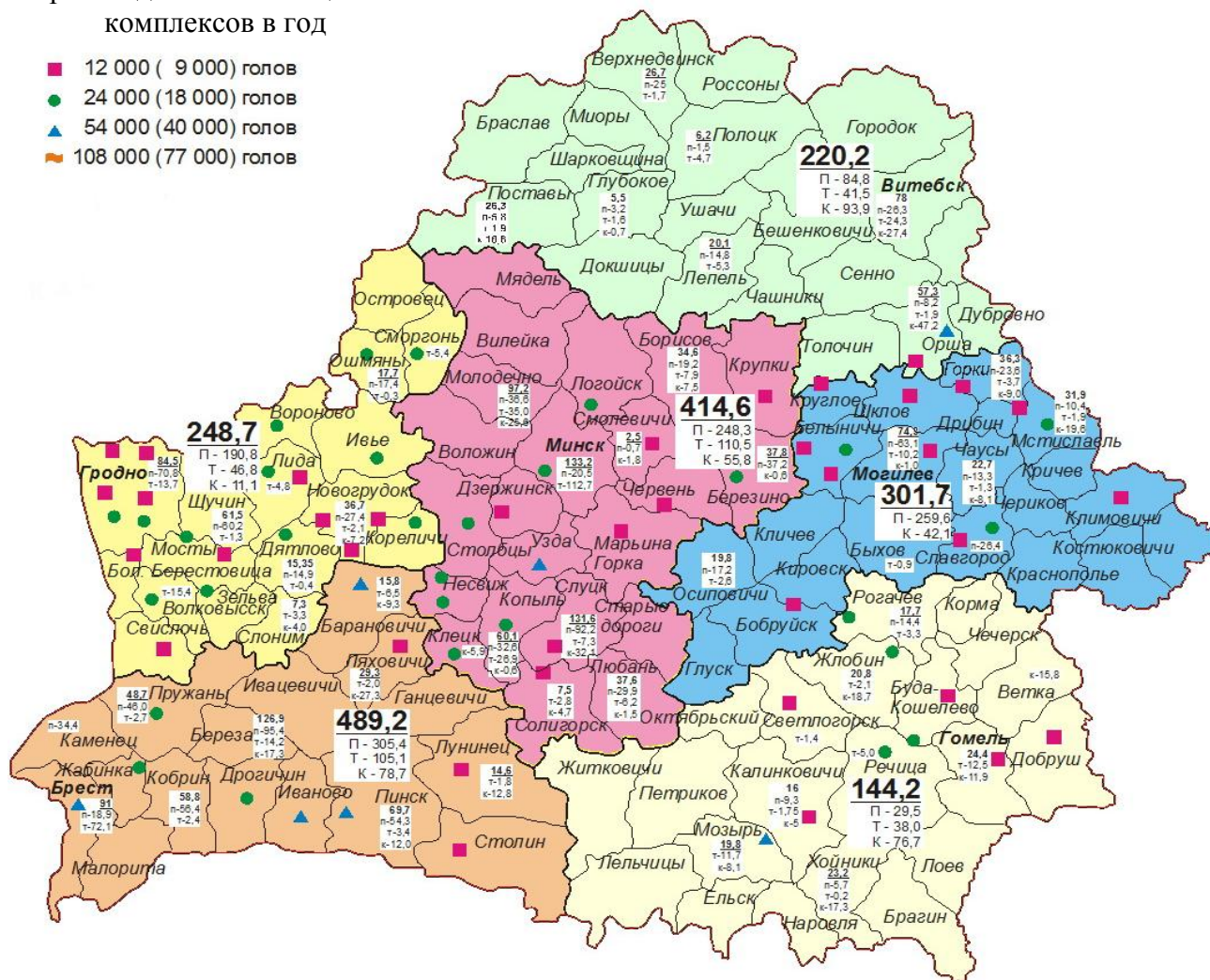
Сброс молочной сыворотки в канализацию вызывает ухудшение экологической обстановки и наносит серьезный урон окружающей среде. Политика санкций и штрафов, как показывает практика, не дает ощутимых результатов. Проблема требует решения как на законодательном уровне, так и посредством разработки и внедрения комплексных безотходных и малоотходных технологий. В зависимости от объемов и вида молочной сыворотки, должны применяться различные схемы ее переработки. Этот вопрос требует дифференцированного

подхода с учетом особенностей каждого конкретного предприятия. Основной тенденцией развития молочной отрасли Республики Беларусь в указанный период является ее масштабная реструктуризация и модернизации. Старт этим процессам дала *«Программа развития перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса на 2003-2004 годы»*, которая предусмотрела концентрацию производства на крупных перерабатывающих предприятиях, их техническое переоснащение, развитие специализации. Развитие производства по переработке молочной сыворотки проводилось по *«Программе переработки молочной сыворотки и производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь в 2008-2010»* (далее Программы), во время разработки и входе реализации которой осуществлялся мониторинг состояния проблемы [80, 83, 97, 126, 151, 180, 273, 274].

1.1.2 Оценка объемов производства и географии распределения молочной сыворотки по видам

На первом этапе подготовки Программы был проведен анализ производства сыворотки на уровне предприятий, обследовано 68 физически обособленных производств. На начало 2007 г. 54 завода производили творог, из которых 12 крупных производств (более 1000 т в год), 18 средних (более 300 т, но менее 1000 т в год), на 6 площадках производили творог в количестве менее 100 т в год. Основное производство сосредоточено в Брестской и Минской областях. Производство различных видов сыра было освоено на 55 заводах, из которых 28 крупных (более 1000 т в год). Наибольшее их количество сосредоточено в западной части республики: Брестская, Гродненская области и Минский регион в целом. Как правило, это предприятия, производящие твердые сыры. На 15 предприятиях налажен выпуск мягких сыров, однако годовое их производство составляло не более 80 тонн. В этот же период в республике не менее 33 заводов имели возможность производить казеин. Производство казеина в целом распределено равномерно по территории республики, за исключением Гродненской области, где казеин практически не вырабатывался [149, 150] (рисунок 1.1).

Производственная мощность
комплексов в год



Производство сыворотки в 2015 году							
Область	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская	Итого:
Получено сыворотки, тыс. тонн	748,5	246,9	229,9	378,3	472,0	193,7	2269,3
в том числе:							
подсырная	512,9	190,7	178,2	291,9	276,6	134,1	1584,4
творожная	189,7	45,9	50,0	84,0	156,1	42,3	568,0
казеиновая	45,9	10,3	1,7	2,4	39,3	—	99,6
прочая	—	—	—	—	—	17,2	17,2

по оперативным данным Минсельхозпрода Республики Беларусь

П – подсырная сыворотка, Т – творожная сыворотка, К – казеиновая сыворотка

Рисунок 1.1 – Объемы производства сыворотки по областям по состоянию на 2008 г. и в 2015 г., тыс. т. Размещение свиноводческих комплексов

В указанный период производство сыворо́тки в Республике Беларусь увеличивалось значительными темпами. Рост производства творожной и подсырной сыворо́тки во многом был обусловлен внутренними факторами – наряду с общим увеличением объемов производства молока изменялась структура его переработки в сторону увеличения доли высокобелковых продуктов (сыров, творога). Получение казеиновой сыворо́тки было обусловлено внешними факторами, в основном соотношением мировых цена на СОМ и казеин.

Назрела целесообразность сконцентрировать переработку сыворо́тки на нескольких высокоспециализированных предприятиях, оснащение которых позволит осуществлять производство стандартных продуктов с высокой относительной рентабельностью за счет масштабов производства, при необходимости развивая глубокую переработку сыворо́тки и используя высокотехнологичные подходы, позволяющие получать хорошую прибыль.

Рассматривая ситуацию с точки зрения роста объемов производства молока, постоянное увеличение спроса на внешнем рынке на сыр, его высокую рентабельность, а также мировой опыт переработки молока [198], была поставлена задача повышения объема производства сыров к 2010 г. в 2-2,5 раза. Во столько же раз увеличилось и количество подсырной сыворо́тки, для которой вопросы ее промышленной переработки необходимо было решать заблаговременно. Учитывая опыт передовых зарубежных стран, а также анализируя рынок биржевых молочных продуктов, наиболее перспективной является переработка подсырной сыворо́тки с получением сухого продукта. Целесообразно в каждой области организовать крупные предприятия по переработке молочной сыворо́тки. Для расчета их мощности был составлен прогноз производства сыворо́тки в ближайшей перспективе. Из прогноза следует, что можно ожидать некоторого замедления темпов роста производимой сыворо́тки, тем не менее, в среднем они будут превышать рост производства молока.

1.1.3 Оценка экологических и экономических рисков от отсутствия системы переработки сыворотки

Условные потери или недополученная прибыль могут быть оценены различными методами с использованием нескольких критериев. Расчеты проведены по состоянию на 2008 г.

Оценка экологического ущерба от сброса молочной сыворотки. Одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами является *биологическое потребление кислорода (БПК)* – показатель, определяющий количество кислорода, необходимое для аэробного биохимического окисления и разложения нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемом образце, под действием микроорганизмов. Показатель БПК₅ указывает количество кислорода, необходимое для разложения органических загрязняющих веществ без света в течение 5 сут, или БПК_{полный}, определяемый в течение 20 сут. БПК₅, как правило, составляет около 70 % от БПК_{полный}. Показатель БПК следует отличать от *химического потребления кислорода (ХПК)*, под которым понимают количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием окислителей.

В расчетах использованы рекомендации, изложенные в работе «Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для производства продуктов питания, напитков и молока», разработанной в соответствии с Инструкцией о порядке сбора, накопления и распространения информации о наилучших доступных технических методах, утвержденной Постановлением Минприроды от 08.06.2009 г. № 38.

При подаче сыворотки на поля фильтрации происходит разложение белков, жиров, лактозы, минеральное засоление почвы и грунтовых вод. Для расчетов использован эквивалент БПК₅ основных компонентов продуктов питания:

для углеводов – 0,65 кг/кг, 650 000 мг/кг;

для жиров – 0,89 кг/кг, 890 000 мг/кг;

для белков – 1,03 кг/кг, 1030 000 мг/кг.

Например, при содержании белка в жидкой сыворотке 0,75 %, жира – 0,15 %, лактозы – 4,4 %, расчетный БПК₅ составит 37 660 мг/кг.

БПК₅ сыворотки примерно соответствует уровню 40 000 мг/л, следовательно, для дальнейших расчетов условно примем, что стоимость утилизации 1 т сыворотки соответствует утилизации 100 т хозяйственных стоков, и стоимость переработки сыворотки на очистных в 100 раз выше, чем у хозяйственных стоков. Таким образом, на 2008 год стоимость утилизации сыворотки на очистных сооружениях можно оценить в сумму порядка 50 млн. долларов в год.

Приведенный расчет показывает, сброс сыворотки на очистные сооружения является исключительно затратным проектом, требующим не только высоких капитальных вложений, но и значительных средств на поддержание работы очистных сооружений.

Оценка недополученного дохода от потери сухих веществ молока.

В первый год выполнения программы (2008 г.) на переработку было поставлено 5 млн. т молока. Принимая среднее содержание сухих веществ 12,5 %, это соответствует 625 тыс. т сухого вещества. Усредненный состав молочной сыворотки для расчетов примем следующий: содержание сухих веществ – 5,5 %, в том числе лактозы – 4,3 %, белка – 0,6 %, золы – 0,55 %, молочного жира – 0,05 %. Тогда в 1863 тыс. т нативной сыворотки общая масса сухих веществ составляет 102 тыс. т. По оперативным данным Минсельхозпрода Республики Беларусь, в 2008 г. переработано 484 тыс. т (26 %) полученной сыворотки. Таким образом, осталось не использовано 1380 т нативной сыворотки, или 76 тыс. т сухого вещества, что при пересчете соответствует 600 тыс. т молока, или 12 % от его производства. Если данное сухое вещество оценивать как 25 % стоимости молока 1-го сорта, то в денежном эквиваленте это составит примерно 43 млн. USD.

Переработка такого количества сыворотки на сухой продукт позволила бы получить выручку от продажи в размере около 52 млн. USD при средней цене продаж 670 USD за тонну сухого продукта (рисунок 1.2). Это и есть базисный объем упущенного дохода.

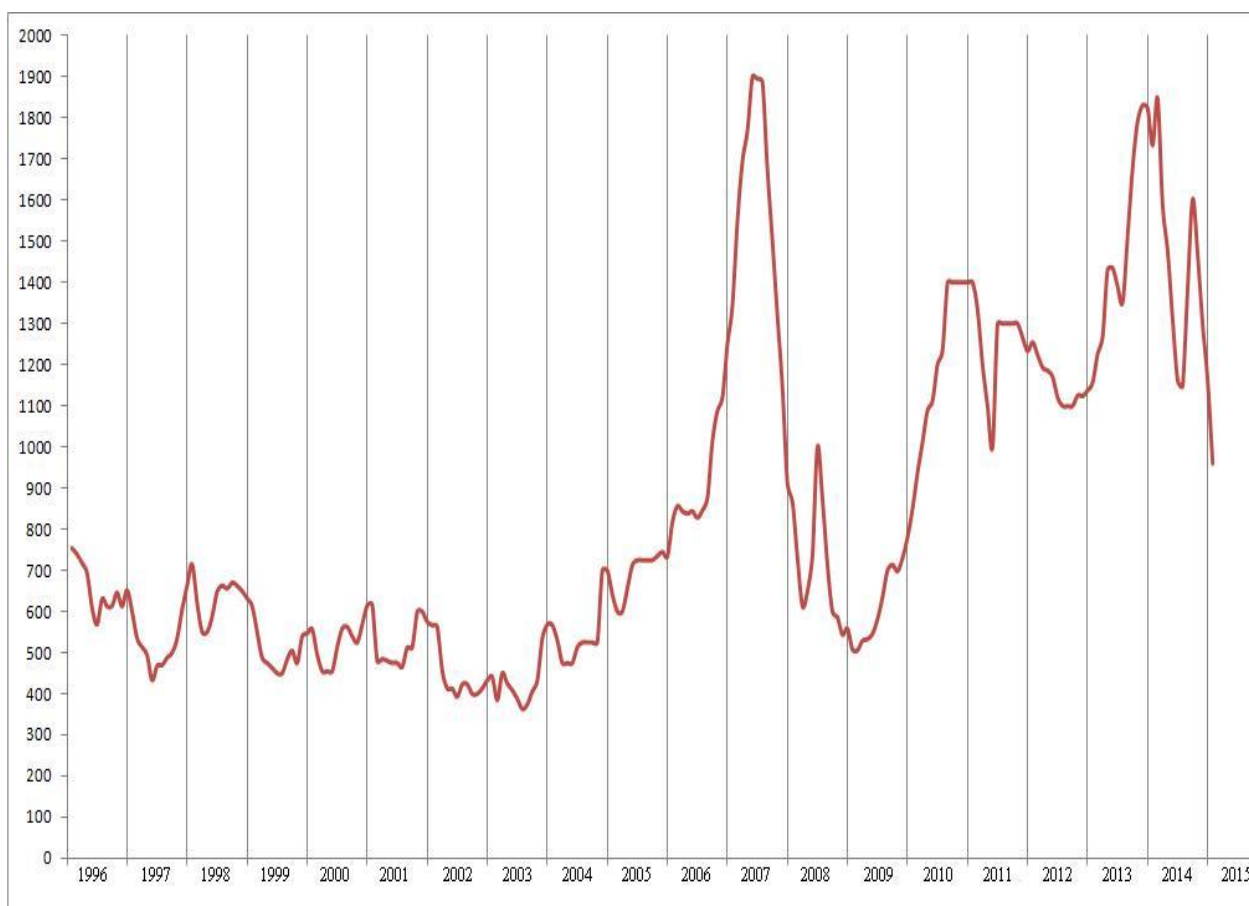


Рисунок 1.2 – Динамика изменения биржевых цены на сыворотку сухую, USD/т.
Оперативные данные Минсельхозпрода Республики Беларусь

Использование молочной сыворотки в рационах кормления свиней. В результате изучения организации выпойки сыворотки сельскохозяйственным животным установлено, что для выпойки телятам использование сыворотки нецелесообразно. Во-первых, возникают серьезные проблемы с организацией условий хранения сыворотки и мойки поильного оборудования. Во-вторых, в сыворотке нет незаменимых для телят аминокислот, а использование сладкой сыворотки еще и повышает риск кишечных расстройств. В то же время для кормления свиней может быть использована как сладкая, так и кислая молочная сыворотка, где незаменимой аминокислотой является лизин. Наиболее качественная сыворотка – казеиновая кислотная, получаемая при производстве казеина с использованием чистой молочной или соляной кислоты. Уровень pH кислой сыворотки составляет 4,5-4,6 ед., что значительно ниже уровня

нормальной кислотности желудочных соков. Хотелось бы отметить, что в республике проводились успешные опыты по использованию соляно-кислотной казеиновой сыворотки в рационах питания свиней. Все компоненты данного вида сыворотки относятся к категории легкоусвояемых, данный показатель находится в пределах 95-98 %. По содержанию белка и обменной энергии 14-16 кг жидкой сыворотки соответствует 1 кг ячменя. Это соотношение широко используется для определения цены сыворотки, поставляемой для откорма сельскохозяйственных животных. Сладкая сыворотка имеет серьезные ограничения по сроку хранения и должна скармливаться как можно быстрее, либо ее подвергают консервированию с использованием муравьиной или пропионовой кислоты в концентрации 1-3 дм³ на 1000 дм³ сыворотки. Срок хранения охлажденной консервированной сыворотки может достигать 7 дней [182, 185, 277].

В рационы питания свиней можно вводить до 20 % сыворотки в пересчете на сухое вещество, что составляет для свиньи на откорме до 7 кг/сут, для свиноматки – до 20 кг/сут [278]. Основными преимуществами использования сыворотки в рационах питания свиней являются: высокая биологическая ценность, высокое содержание минеральных веществ в легкодоступной форме. Если сыворотка поставляется в теплом виде, зимой получается дополнительный эффект от снижения затрат корма на поддержание животным оптимальной температуры тела. Особенно важно наличие в сыворотке значительного количества лизина, который является незаменимой аминокислотой для свиней.

Однако, с учетом того, что в свиноводстве у нас в республике используются преимущественно системы сухого кормления, развитие этого направления было признано не перспективным.

1.1.4 Системный анализ технологического и технического оснащения производств

Важным этапом, предваряющим разработку стратегии развития переработки сыворотки, явился технический аудит основных предприятий с учетом системного взаимодействия в пределах организационных, производственных связей и вероятных

направлений технологического развития [148, 170, 196]. Установлено, что, несмотря на существование в республике некоторых технологий переработки сыворотки, в большинстве случаев необходима их адаптация, как к техническим возможностям перерабатывающих предприятий, так и к потребностям рынка. Состояние оборудования, с позиции организации переработки сыворотки, в целом по отрасли было признано неудовлетворительным. Существовавшее оборудование не отвечало специальным требованиям для производства концентрированной, сгущенной и сухой сыворотки. Кроме того, оно имело высокую степень физического износа, заложенные в него конструкторские и технологические принципы не соответствовали требованиям по качеству выпускаемой продукции и экономичности работы [51].

Емкостной парк является важным звеном процессов переработки сыворотки. Это связано с необходимостью накапливать и хранить большие объемы жидкого сырья и промежуточных продуктов, зачастую представляющих собой агрессивную среду. Следует отметить, что на предприятиях ощущалась явная нехватка емкостей. Часто использовались танки недостаточно большого объема, иногда горизонтального исполнения, что приводило к нерациональному использованию площадей предприятий. Особое внимание необходимо также уделять марке используемого металла, качеству швов и термоизоляции. Недопустимо применение емкостей, изготовленных из алюминия, которые даже при непродолжительном контакте с сывороткой разрушаются. Определено, что емкости для резервирования сыворотки должны изготавливаться из нержавеющей стали AISI 316L или лучше, а для соленой сыворотки и казеиновой солянокислотной – AISI 316Ti или лучше.

Основой бесперебойной работы линии переработки сыворотки является качественное отделение белковой пыли и жира. На первом этапе подготовки продукта к дальнейшей переработке целесообразно использовать вибросита или барабанные уловители белковой пыли. Более тонкая очистка осуществляется на второй ступени посредством использования специальных сепараторов. Использование декантеров позволяет совместить эти две операции в одном устройстве. Особенно оправдано использование декантеров при производстве

казеина. При выработке специальных, особо ответственных продуктов, необходимо применение бактофуг или установок микрофльтрации для дополнительного удаления микроорганизмов, в особенности спорообразующих.

Состояние и оснащенность аппаратных цехов теплообменным оборудованием можно признать удовлетворительным. Для охлаждения и пастеризации при температуре 72 ± 2 °С хорошо подходят пластинчатые теплообменники. При необходимости высокотемпературной обработки молочной сыворотки было рекомендовано использовать трубчатые теплообменники или емкости с прямым впрыском пара.

Было установлено практическое отсутствие в то время на предприятиях мембранных установок, а глубокая переработка сыворотки основывается именно на их применении. Это установки микрофльтрации для снижения бактериальной обсемененности, установки ультрафльтрации для фракционирования белков, установки нанофльтрации и обратного осмоса для концентрирования продуктов, электродиализные установки для деминерализации [10, 71, 93-95, 103, 124, 250].

Использование для сгущения молочной сыворотки двухкорпусных вакуум-выпарных аппаратов циркуляционного типа не отвечает требованиям качества продукции, экономичности и стабильности работы [9, 11, 28, 49, 64, 128]. Сгущенная сыворотка получается низкого качества с низким и нестабильным содержанием сухих веществ. Кроме того, замечены следующие недостатки:

– не всегда достаточное качество мойки калоризатора и сепаратора второй ступени сгущения (наличие пригара, особенно в сепараторе и трубках калоризатора), что приводит к появлению в сухом продукте пригоревших частиц (особенно характерна такая ситуация при переменной работе на разных продуктах: обезжиренном молоке и сыворотке);

- отсутствие фильтров на линии подачи сгущенки на сушку;
- отсутствие теплоизоляции корпусов вакуум-выпарных аппаратов;
- плохая работа конденсаторов соковых паров.

Техническое состояние градирен зачастую неудовлетворительное. Особое внимание следует уделить работе форсунок, насадкам, сепараторам водных брызг,

организации потока воздуха, подбору вентиляторов (желательно обеспечить возможность регулировки скорости вращения). Для подпитки необходимо использовать очищенную и умягченную воду или паровой конденсат.

Состояние парка сушильного оборудования в Республике Беларусь на момент разработки Программы было признано неудовлетворительным как по техническому уровню используемого оборудования (большинство сушилок старше 30 лет), так и по производительности и их общему количеству. Подавляющее большинство сушилок имело производительность 500-1000 кг испаренной влаги в час.

Анализ технического состояния парка сушильного оборудования [18, 19, 21-24, 26, 50, 59, 101, 108, 121, 140, 143, 144, 225, 228, 229, 231, 232] позволил выделить характерные недостатки:

- отсутствие фильтрации воздуха, подаваемого на сушилку;
- нерациональное выполнение подводов воздуха от нагнетательного вентилятора к калориферу. Изломы, зауженные сечения, резкие повороты создают значительные гидравлические сопротивления, что приводит к снижению общей производительности сушилок;
- уплотнения входного проема в башню зачастую не обеспечивают его герметичность;
- изношенные шлюзовые затворы на циклонах иногда допускают подсос воздуха в циклоны, что приводит к повышению пылеуноса;
- общее состояние циклонов, переходников от турникетов к пневмотранспорту и самого пневмотранспорта зачастую бывает неудовлетворительным. Наличие люков в циклонах, щелей, небрежно выполненная сварка, значительные искажения геометрии приводят к нарушению их работы, что существенно снижает эффективность пылеулавливания;
- отсутствуют охладители воздуха, подаваемого на пневмотранспорт.

Анализ показал, что низкий уровень забора воздуха без кондиционирования, в виду постоянно мокрого пола в помещении, значительно меняет динамику процесса сушки и, как результат, нарушает стабильность качества производимой продукции. До настоящего момента на большинстве предприятий не проводится специальная

подготовка воздуха для подачи на пневмотранспорт. Забор всего технологического воздуха для обеспечения работы сушилки в норме должен осуществляться с улицы. Он должен быть кондиционирован, осушен и профильтрован.

К настоящему времени практически завершен перевод сушилок с парового нагрева на косвенный огневой. Это позволяет экономить до 50 % тепловой энергии, стабилизировать работу сушилки, значительно снижать уровень требований к котельному оборудованию. Вместе с тем, вызывает серьезные сомнения целесообразность модернизации сушилок путем установки интегрированного кипящего слоя. Более предпочтительной видится замена вакуум-выпарных установок, что позволит не только значительно повысить качество готовой продукции, но и в разы снизить затраты энергии на сгущение.

Санитарная обработка производственного оборудования на молочном заводе также является одним из ключевых факторов изготовления качественных продуктов [21, 119, 120, 160]. Разница в цене за аналогичное оборудование от разных производителей зачастую обусловлена организацией специального исполнения, облегчающего последующую санитарную обработку. Хорошие инженерные решения, естественно, стоят денег, но они окупаются в ходе эксплуатации повышением качества конечной продукции и увеличением сервисных интервалов.

1.1.5 Концептуальные подходы в организации системы переработки молочной сыворотки

Альтернативные варианты переработки сыворотки. Для оценки эффективности концентрации производства был проведен анализ затрат на реализацию проектов по альтернативным стратегиям.

Сушка сыворотки на производящих ее предприятиях. Такое направление характеризуется небольшими объемами сырья – до 60-100 т/сут. Установлено, что существующие мощности сушильного оборудования загружены производством СЦМ и СОМ, поэтому для организации переработки сыворотки необходимо расширять производство и дооснащать его оборудованием.

Наличие на одном предприятии как подсырной, так и творожной и (или)

казеиновой сыворотки делает необходимым осуществлять их отдельную первичную подготовку. Расчеты показывают, что даже малая сушилка на 500 кг испаренной влаги в час будет обладать большим запасом производительности, что приводит к ее нерациональному использованию (недозагрузке) при объеме поступающей на переработку сыворотки менее 200 тонн в сутки. При этом предприятие должно будет остановиться на выработке одного продукта, а оперативный переход к производству другого продукта (особенно при переходе от производства пищевого продукта к кормовому) будет сопряжен со значительными сложностями и существенными потерями (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Оценка затрат при организации переработки на каждом заводе

Наименование	Примерная стоимость, тыс. евро
Участок приемки и первичной переработки сыворотки (сепарирование, пастеризация, охлаждение)	500,0
Емкости для хранения натуральной сыворотки	400,0
Участок выпаривания с пленочной вакуум-выпарной установкой	1200,0
Участок кристаллизации	600,0
Модернизация сушилки*	500,0 (1750,0)
Проектные, строительно-монтажные и пуско-наладочные работы	750,0
Итого по заводу	3950,0 (5200,0)
Итого по 35 заводам	138250,0 (182000,0)
Линии подготовки сыворотки к транспортировке на предприятиях, необорудованных сушилками, но производящих сыворотку, 30 шт.	$350,0 \cdot 30 = 10500,0$
Итого по республике	148750,0 (192500,0)

Концентрация и диверсификация производства. В этом случае предусматривается перепрофилирование одного-двух заводов области в специализированное предприятие по переработке сыворотки.

При концентрации переработки сыворотки, в целях снижения транспортных расходов, необходимо организовать на предприятиях-сателлитах концентрирование сыворотки до 20-40 % сухих веществ. Это можно осуществить либо при помощи вакуум-выпарных установок, либо путем баромембранного концентрирования. Концентрация производства дает возможность сосредоточить на одном предприятии переработку до 1500 т и более сыворотки в сутки, что позволит использовать экономичное оборудование высокой производительности,

делает возможным селективный подход к поступающему сырью. При наличии двух сушилок можно гибко подходить к ассортименту выпускаемой продукции. Например, одна сушилка отводится под сушку кристаллизованной сыворотки, другая – под кормовые продукты, ЗЦМ, молочно-жировые и молочно-растительные концентраты. Следует учитывать, что введение в рецептуры продуктов немолочного сырья позволяет существенно увеличить оборот предприятия (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Оценка затрат на реализацию программы при организации централизованной переработки на областном уровне

Наименование	Примерная стоимость, тыс. евро
Участок приемки и первичной переработки сыворотки (сепарирование, пастеризация, охлаждение)	750,0
Емкости для хранения натуральной сыворотки	1500,0
Участок баромембранной обработки	1500,0
Участок выпаривания с пленочной вакуум-выпарной установкой	1500,0
Участок кристаллизации	900,0
Модернизация сушилки	2750,0
Проектные, строительные-монтажные и пусковые работы	1500,0
Итого по заводу	10400,0
Итого по 6 заводам	62400,0
Линии подготовки сыворотки к транспортировке на предприятиях, не оборудованных сушилками, но производящих сыворотку, 59 шт.	$350,0 \cdot 59 = 20650,0$
Итого по республике	83050,0

Рассмотрим этот вариант переработки на примере создания кластера по переработке сыворотки на областном уровне.

Центр переработки сыворотки – сыродельный завод. Прогнозируемый объем переработки – 480 тыс. т сыворотки в год, из них подсырной – 240 (собственной 60,0) тыс. т, творожной – 150 тыс. т, казеиновой – 90 тыс. т.

Специализация – производство сыворотки сухой и концентрата сывороточно-жирового для ЗЦМ.

Оценка инвестиций, необходимых для создания участков подготовки сырья к транспортировке. Для транспортировки сыворотки при

двухсменной работе в пиковый период необходимо 12 машин. Оценка объема затрат на перевозку составляет около 300 тыс. евро в год.

Автотранспорт. Необходимое количество автомобилей – 12 ед. Стоимость автопарка – 900 000 евро (12 · 75 000 евро). Инфраструктура для обслуживания – 500 000 евро. Итого – 1 400 000 евро.

Участки концентрации необходимо установить на 13 заводах плюс центральный (таблица 1.3, 1.4).

Таблица 1.3 – Примерная стоимость базового комплекта оборудования для подготовки сыворотки к транспортировке на заводах поставщиках

Наименование	Примерная стоимость, тыс. евро.
Охладитель	10,0
Вибросито (удаление крупных фракций белковой пыли)	20,0
Сборные емкости	40,0
Сепаратор	50,0
Пастеризационно-охладительная установка	30,0
Установка для нанофильтрации	150,0
Емкость для хранения концентрата	50,0
Итого	350,0
Итого по 13 заводам	4550,0
Проектные и монтажные работы на одном заводе	100,0
Итого по 13 заводам	1300,0
Общее итог	5850,0

Таблица 1.4 – Оценка необходимых затрат на создание производства по переработке сыворотки для сыродельного завода

Наименование	Стоимость, тыс. евро.
Участок приемки и первичной переработки сыворотки (приемное отделение, емкости для хранения концентрата сыворотки, емкости для хранения натуральной сыворотки)	750,0
Арматура	500,0
Участок подготовки собственной сыворотки и привозной не концентрированной	500,0
Участок баромембранной обработки (нанофильтрация, обратный осмос)	1250,0
Участок нормализации сыворотки	500,0
Участок СІР-мойки	500,0
Участок выпаривания с пленочной вакуум-выпарной установкой	1750,0
Участок кристаллизации	1250,0
Сушилка	4000,0

Проектные, строительные-монтажные и пуско-наладочные работы	3000,0
Итого по заводу	14 000,0

Таким образом, оценочно общий объем необходимых инвестиций составляет 21,25 млн. евро.

Расчет экономической эффективности модернизации для кластера по переработке сыворотки. Расчет срока окупаемости ведется по одному продукту – сыворотка сухая. Ориентировочная себестоимость производства сыворотки сухой – 450 евро/т. Консервативная расчетная продажная цена сыворотки – 900 евро/т (контрактная цена сыворотки сухой на момент анализа – 1100 евро/т). Срок окупаемости проекта с момента выхода на проектную мощность до двух лет.

Внедрение новых технологий и оборудования позволяет в 2 раза сократить затраты энергоресурсов на переработку сыворотки, этот эффект учтен в себестоимости, принятой к расчетам.

Производство концентрата сывороточно-жирового дает дополнительную прибыль по сравнению с сывороткой сухой – в расчетах она не учитывалась.

Не учтен в расчетах и экологический эффект. Утилизация 1 т сыворотки на очистных сооружениях оценивается минимум в 20-40 евро. Таким образом, экономия составит около 15 млн. евро в год. С учетом этого эффекта, срок окупаемости проекта в масштабах кластера областного масштаба составляет менее одного года.

Если рассматривать целесообразность организации централизованной закупки оборудования, проведения работ в рамках одного технического задания, можно примерно оценить уровень участия отечественных компаний в данном проекте более 30 % (таблица 1.5), что является достаточно хорошим показателем для столь сложного и высокотехнологичного проекта.

Таблица 1.5 – Разбивка оборудования по группам для формирования задания на тендер с учетом требования импортозамещения

Группа оборудования	Поставщик	Оценка стоимости, тыс. евро
Автотранспорт	Белорусские производители	900
Строительные работы	Белорусские подрядчики	4 800
Оборудование для обработки жидкого сырья (пастеризационно-охладительное, сепараторы, баромембранные установки и др.)	Альфа-Лаваль (Швеция) Концерн GEA (Вестфалия, Германия) Alpma (Германия) Мега (Чехия) «Смычка» (Россия) «Славутич» (Россия)	6 850
Сгущение сушка (вакуум-выпарная установка, кристаллизатор, сушилка)	Концерн GEA (Niro, Дания) Angidro (Дания) Возможно организация собственного производства	7 000
Емкостной парк	Белорусские производители	1 700
Итого		21 250
Из них белорусские предприятия		7 400

Если исходить из существующей структуры производства отечественных предприятий, уровня текущих цен на продукты переработки сыворотки, то можно наметить специализацию областных кластеров для проработки перспективных направлений технического развития.

Сыворотка сухая – основной продукт переработки сыворотки молочной (творожной, подсырной, казеиновой). Используется в пищевой промышленности – детском питании, хлебопекарной, кондитерской, мясной, при производстве кормовых продуктов. Концентрат сывороточных белков 35 % (WPC 35) – концентрат сывороточных белков с содержанием белка 35 %. В республике выпускается КСБ-УФ с содержанием белка 55 и 80 %. Продукт используется для производства детского и специализированного питания, высококачественных ЗЦМ.

Лактоза – углевод, используется в фармакологии в качестве наполнителя для таблеток (до 80 % от массы таблетки), а также в пищевой промышленности – детском питании, хлебопекарной, кондитерской, мясной, при производстве кормовых продуктов.

Концентрат сывороточно-жировой – основа для производства современных высококачественных ЗЦМ. Потребность республики к 2010 г. – не менее 30 тыс. т в год. Цена на концентрат сывороточно-жировой – 1,5 долл./кг.

Фильтрат сухой – углеводсодержащий продукт, получающийся путем сушки сыворотки, из которой методом ультрафильтрации были извлечены сывороточные белки. Используется в пищевой промышленности – детском питании, хлебопекарной, кондитерской, мясной, при производстве кормовых продуктов.

Меласса сухая – высушенный маточный раствор, остающийся после производства лактозы. Характеризуется высоким содержанием минеральных веществ. Используется при производстве кормовых продуктов, прежде всего комбикорма и ЗЦМ.

Полная специализация. Наиболее радикальным вариантом переработки сыворотки является концентрация переработки на одном предприятии. Его пиковая мощность должна доходить до 10000 т в день. Стоимость технологического оборудования можно оценить в 30,0-40,0 млн. евро плюс строительно-монтажные работы на новой площадке. В этом варианте также необходима организация участков концентрирования сыворотки и создание четко работающей логистической структуры по ее доставке. Необходима координация работы всех предприятий мегакластера для обеспечения стабильности и предсказуемости работы. Это предприятие должно обеспечивать производство широкой гаммы продуктов на базе сыворотки как пищевой, так и кормовой направленности.

Выработка концепции системы переработки сыворотки. На основании приведенных расчетов нами предусмотрена двухуровневая схема организации переработки молочной сыворотки: на первом уровне производится сбор, очистка и концентрирование сыворотки для транспортировки; на втором – углубленная переработка и получение конечных продуктов.

На первом уровне целесообразно заниматься первичной очисткой, охлаждением и подготовкой сырья к транспортировке путем предварительного

концентрирования. Примерная стоимость базового комплекта оборудования для подготовки сыворотки зависит от принятой технологии сгущения: концентрирование при помощи нанофильтрации/обратного осмоса или сгущение на вакуум-выпарной установке.

Эксплуатационные расходы по энергии у многокорпусной вакуум-выпарной установки (ВВУ) и баромембранной установки (МУ) практически идентичны. Стоимость новой ВВУ заметно выше, чем МУ. Вместе с тем, бывшая в употреблении ВВУ по своим эксплуатационным качествам практически соответствует новой, но ее стоимость значительно ниже и, с учетом демонтажа/монтажа, может быть сравнима с новой МУ. Необходимо помнить, что срок нормальной эксплуатации мембранных элементов составляет 12-18 мес., затем необходима их полная замена, что требует затрат до 25 тыс. евро. При этом на МУ можно концентрировать до 14-22 % (2,5-4 раза) и получается лишь промежуточный продукт, подготовленный к транспортировке на дальнейшую переработку, а ВВУ позволяет достичь 30-60 % сухих веществ (в 5-10 раз). Такой продукт годен не только для дальнейшей переработки, но и имеет собственную коммерческую значимость. ВВУ может использоваться для получения иных сгущенных молочных продуктов (сгущенное цельное или обезжиренное молоко и т.д.).

Таким образом, вопрос о выборе определенной технологии подготовки молочной сыворотки к транспортировке должен решаться в каждом конкретном случае индивидуально с учетом особенностей предприятий.

При закупке бывшего в употреблении оборудования особое внимание необходимо уделять предоставляемым гарантиям и деффектовке. Часто возникают проблемы с подбором оборудования по технологическим параметрам и показателям производительности. Необходимо понимать, что поступление оборудования на вторичный рынок слабо прогнозируемо, и сроки на принятие решения о покупке часто составляют 2-4 недели. Вместе с тем, у нового оборудования большое время изготовления – для сложных систем (вакуум-выпарные установки, сушилки) может достигать 6-9 месяцев.

Исходя из этих соображений, бывшее в употреблении оборудование не целесообразно использовать на центральных предприятиях по переработке молочной сыворотки. Использование б/у оборудования целесообразно при переоснащении производств, не имеющих долгосрочной перспективы, второстепенных и малоответственных участков, в частности, казеиновых линий.

Второй уровень переработки – это высокопроизводительные линии получения конечного продукта. Принципиально: подготовка сыворотки к переработке принимается такой, как и на низовых заводах. Основное отличие – наличие пунктов приема привозной концентрированной сыворотки. Переработка различных видов сыворотки может строиться в несколько потоков либо путем стандартизации при помощи различных, прежде всего баро- и электромембранных технологий. Для сгущения сыворотки планируется использовать 5-корпусные и более ВВУ с падающей пленкой. Целесообразно рассмотреть возможность применения механической рекомпрессии соковых паров или комбинированных ВВУ. С целью создания резервных мощностей для переработки молока, сушилки должны быть рассчитаны на возможность производства не только сухой сыворотки, но и СОМ, СЦМ, концентрата молочного жира (КМЖ) жирностью до 50 %.

Основными элементами оборудования в технологической цепочке производства сухих продуктов переработки молочной сыворотки должны быть: пост приемки, аппаратный участок, установка электродиализа, вакуум-выпарные аппараты, кристаллизаторы, сушилки, линии фасовки и упаковки, участок централизованной мойки. Основными элементами производства заменителей молока являются силоса для бестарного хранения сухих компонентов, дозирующие устройства, смесители, линия фасовки и упаковки.

Если рассматривать мероприятия с позиции экономии средств, то для обеспечения технологических схем переработки сыворотки необходимо приобретение импортного оборудования (вакуум-выпарные установки, сушильное оборудование, мембранные установки). До 20-25 % оборудования может быть разработано и изготовлено в Республике Беларусь, прежде всего это

емкостное и нестандартное оборудование. В этой связи можно отметить, что емкости размером до 100 м³ могут изготавливаться на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь. Перспективы имеет Институт физико-органической химии в области производства баромембранных установок и станций водоподготовки к ним. Вместе с тем, оборудование для основного производства целесообразно закупать в комплексе у ведущих производителей. Это позволит обеспечить гарантированное качество и широкую гамму получаемой продукции, долговечность и экономичность работы.

При реализации Программы переработки молочной сыворотки, прежде всего, необходимо ориентироваться на удовлетворение внутриреспубликанского спроса на продукты глубокой переработки молочной сыворотки: сухую и сухую деминерализованную сыворотку, концентраты сывороточные с содержанием белка 34, 60, 80 % и более, группу кормовых продуктов, концентраты молочно-жировые и заменители молока, в том числе и для телят первых недель жизни. Такая ориентация позволит прекратить импорт продуктов по этим позициям, усилить экспортный потенциал страны, создав возможность маневра при изменении конъюнктуры мирового рынка. Вместе с тем, разработка напитков, муссов, желе и пастообразных продуктов позволит значительно расширить ассортимент выпускаемой продукции [17, 30, 43, 66-68, 102, 105] включая направление функционального питания [88, 92, 104, 250].

1.2 Анализ исследований в области методов обработки и технологий продуктов переработки молока

1.2.1 Основные научно-технические направления в области использования продуктов переработки молока

В области технологий продуктов на основе молочной сыворотки школа академика А.Г. Храмцова [127, 162, 195, 212, 234-250] заслуженно занимает ведущую мировую позицию. Особое место занимают работы по созданию продуктов с глубокой биотрансформацией лактозы – основного компонента молочной сыворотки, работы по ее гидролизу, изомеризации с целью получения лактулозосодержащего сиропа и группы продуктов с его использованием.

В работах Липатова Николая Никитовича [134, 140] разработаны основы применения современных баромембранных и сушильных технологий. В работах Липатова Никиты Николаевича подробно описаны принципиальные подходы к проектированию многокомпонентных продуктов [133,135-139].

Труды академика В.Д. Харитоновой [228-232] являются отправной точкой разработок в области производства сухих молочных продуктов. В них изложены фундаментальные теоретические подходы к получению сухих быстрорастворимых продуктов.

Одним из главных направлений научной деятельности профессора И.А. Евдокимова [7, 73-84] является разработка комплексных технологических подходов к переработке молочной сыворотки. В цикле работ, посвященном производству молочного сахара, особое место отведено глубокому изучению процессов кристаллизации лактозы.

Заслуживают внимания работы научной группы профессора Е.И. Мельниковой [152-157] в области развития технологий глубокой переработки молочной сыворотки. Значимым является цикл работ, посвященный изучению направлений использования микропартикулятов сывороточных белков. Научно-практический интерес вызывает работа Н.В. Пономаревой [177] в области

продуктов гидролиза β -лактоглобулина со сниженной остаточной антигенностью, которая создает предпосылки для разработки группы новых продуктов, обладающих функциональной направленностью и профилактическим действием.

В г. Ярославле школой профессора Г.Б. Гаврилова [36-43, 167-169] проведены фундаментальные работы по изучению баромембранных методов обработки молочного сырья. Разработаны современные технологические подходы применения процессов ультрафильтрации, нанофильтрации к переработке молочной сыворотки.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» большое внимание в своей научной деятельности уделяет вопросам применения побочных продуктов переработки молока в составе кормовых продуктов, прежде всего, для крупного рогатого скота и свиней [185, 186, 255].

Особое внимание комплексному анализу ситуации и решению проблемы переработки молочной сыворотки уделено Волковой Т.А. [29-32].

Современные технологические подходы описаны в работе Ванг Вестергаарда (Vang Westergaard) [28]. Особенное внимание уделено вопросам обеспечения качества получения сухих продуктов, включая жиросодержащие. Отдельные исследования посвящены вопросу термопластичности высушиваемых продуктов и методов выбора режимов работы сушильного оборудования для минимизации воздействия этого фактора на работу сушильного оборудования.

В техническом университете Мюнхена (Technischen Universität München) под руководством профессора Улрика Куложика (Ulrich Kulozik) были разработаны научно-технологические принципы термомеханического преобразования сывороточного белкового концентрата в микропартикулят и разработаны практические подходы к его применению в различных группах пищевых продуктов, включая молочные, мясные, хлебобулочные и др. [271].

1.2.2 Основные технологические подходы к производству заменителей молока и его компонентов

Заменители молока (ЗМ) – кормовые смеси, имеющие сложный, сбалансированный по питательным элементам, соответствующий физиологическим потребностям, состав, обеспечивающие нормальный рост и развитие телят. Эти продукты максимально приближаются по составу и биологическим свойствам к коровьему молоку. Различают *заменители цельного молока (ЗЦМ)* – продукты, максимально по составу и физиологическим свойствам соответствующие цельному молоку, могут использоваться с недельного возраста в качестве основного питательного компонента рациона, и *заменители обезжиренного молока (ЗОМ)* – продукты, приближенные по составу к обезжиренному молоку, используются в рационах кормления телят двух-трехмесячного возраста [13, 39, 53, 56, 90, 249, 254].

Необходимость разработки заменителей молока обусловлена рядом факторов. Основной хозяйственный эффект обеспечивается увеличением товарности молока, то есть часть молока, которая использовалась для выпойки телят, направляется на промышленную переработку. При составлении рецептур ЗЦМ необходимо обеспечивать физиологические потребности телят и ориентироваться на способность организма к перевариванию тех или иных групп питательных веществ. При этом стоимость готового ЗМ должна быть ниже, чем цена приемки молока сырья. При использовании заменителей молока снижается вероятность распространения инфекций, так как в условиях фермы не всегда обеспечена возможность пастеризации молока, используемого для выпойки телят [46, 107, 129].

Известно, что у новорожденных телят функционирует только один из отделов желудка – сычуг. Остальные три – рубец, сетка, книжка – формируются позже, более интенсивно после молочного периода. В течение первых нескольких дней пищеварительная система телёнка функционирует таким же образом, что и у животного с одним желудком. У новорожденного телёнка сычуг занимает почти 60 % общего объема желудка, в то время как у взрослого животного он

редуцирован только до 8 %. Преджелудки, особенно рубец, выполняют главную роль в переработке грубых, сочных объёмистых кормов. Насколько они будут развиты, настолько эффективным окажется процесс первоначального переваривания и усвоения элементов питания из кормов. Именно поэтому в молочный период важно стимулировать развитие рубца и других преджелудков, готовить животных к трансформации объёмистых кормов, клетчатки в продукцию животного происхождения. У молодых телят в дорубцовый период основными ферментами в сычуге являются амилаза и ренин. По мере роста теленка его преджелудки приобретают способность усваивать питательные вещества растительных кормов. В связи с этим телятам старше трех месяцев в заменители молока можно включать больше растительных кормов и меньше компонентов животного происхождения [56, 185].

По консистенции ЗЦМ можно разделить на три группы: жидкие (содержание сухих веществ 10-13%) – готовые к употреблению смеси; концентрированные (содержание сухих веществ 30-60%) – жидкие (пастообразные) продукты, которые перед употреблением необходимо разбавить водой или сывороткой; сухие (содержание сухих веществ 90-96%) – перед употреблением необходимо разбавить водой в соотношении 1:8-9 [53, 184, 249, 257] (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Классификация заменителей цельного молока

Существуют рецептуры сухих ЗЦМ, для растворения которых необходимо использовать сыворотку или обезжиренное молоко, но их использование ограничено. Жидкие и концентрированные ЗЦМ используются редко из-за нерешенных проблем, связанных с их транспортировкой и хранением. Эти сложности обусловлены расслоением продукта на фракции и быстрой микробиологической порчей.

Основными технологиями при производстве сухих видов ЗМ являются [53, 56]:

Технология сухого смешивания – все необходимые компоненты применяются в сухом виде. Продукт вырабатывается сухим смешиванием. Преимущества технологии – простота оборудования, дешевизна производства. Недостатки – низкая растворимость, плохая однородность, сложности при подборе компонентов для обеспечения сбалансированности по питательным веществам. Особая проблема – недостаток высокожирных компонентов и, как следствие, практическая невозможность создания высокожирных видов ЗЦМ, высокая окисляемость жировой фазы и наличие значительного количества свободного жира в готовом продукте. Технология используется для получения заменителей обезжиренного молока и ЗЦМ на основе полножирной соевой муки, при этом получаемые продукты зачастую заменителями молока назвать сложно.

Комбинированная технология – отдельные компоненты, как правило молочно-жировые, производятся путем сушки на распылительных сушилках, а завершение процесса производится путем его сухого смешивания с растительными, минеральными и витаминными добавками, про- и пребиотическими компонентами. Плюсы – простота оборудования, повышенная растворимость и однородность, хорошая дисперсность и устойчивость жировой фазы. Недостатки – недостаточная равномерность распределения микро- и макроэлементов, витаминов. Данная технология является наиболее приемлемой по соотношению цена/качество, но необходимо организовывать производство молочно-жирового компонента либо проводить закупку его по импорту. Технология позволяет создать рецептуры для использования в «автомамах» – автоматических устройствах по поению телят готовым ЗЦМ.

Традиционная технология – приготовление смеси осуществляется в жидком виде, затем она направляется на распылительную сушилку. Плюсы – получаемый продукт, благодаря широкой гамме используемого сырья, может соответствовать всем зоотехническим требованиям; высокая растворимость и равномерность распределения компонентов, длительный срок хранения. Недостатки – относительно высокая стоимость выработки продукта. Для снижения влияния этого фактора необходимо наличие специализированного производства, оснащенного экономичным вакуум-выпарным и сушильным оборудованием. Получаемый продукт лучшим образом подходит для использования в автоматах для выпойки телят.

Исторически сложилось, что развитие производства ЗЦМ начиналось с замены молочного жира на жиры животного и растительного происхождения. Основа ЗЦМ этого поколения – обезжиренное молоко. На следующем этапе были попытки заменить белок молока (прежде всего казеин) на растительный, микробиологический или немолочный белок животного происхождения. Основа ЗЦМ этого поколения – сыворотка или ее фильтрат. Весьма интересными были разработки БиоЗЦМ, при производстве которых белок синтезировался за счет дрожжевой массы, выращиваемой на сыворотке [90]. Похоже, он серьезно опередил свое время, и к этой технологии мы еще вернемся.

При разработке заменителей молока надо четко понимать, что единственным компонентом, который не имеет аналогов в природе и практически незаменим, является лактоза. Поэтому любой ЗЦМ обязан содержать ее в необходимом количестве (для молодняка КРС содержание лактозы в сухом веществе ЗЦМ должно находиться в пределах 25-40%). Для создания новейших видов ЗЦМ используется молочная основа (как правило, сыворотка) с скорректированным (в основном мембранными методами) соотношением компонентов, с добавлением белков растительного происхождения, комбинации растительных жиров [197], обогащенная витаминно-минеральным комплексом и про- и пребиотическими компонентами, технологии которых требуют значительных доработок в свете современных научных знаний и новых технологических возможностей.

1.2.3 Характеристика состава и свойств белков молока, методы фракционирования

На настоящее время наиболее востребованным функциональным компонентом молока является белковая фракция, направленное воздействие на которую составляет технологическую основу молочного производства.

В состав белков молока входят казеин и сывороточные белки. Казеин является основным белком молока и составляет около 80 % от общего содержания белка в молоке. Согласно первичной структуре полипептидных цепей, казеин делится на четыре фракции: α_{s1} -, α_{s2} -, β -, κ -казеины. Сывороточные белки представляют собой группу различных глобулярных белков, отличающихся друг от друга по структуре и свойствам. Главные представители сывороточных белков β -лактоглобулин и α -лактальбумин. β -Лактоглобулин составляет около 50 % сывороточных белков, α -лактальбумин – около 20 %. Остальное количество сывороточных белков приходится на альбумин сыворотки крови, иммуноглобулины, лактоферрин и другие минорные белки. Существующие в настоящее время методы разделения гетерогенных смесей белков, используемые для фракционирования и выделения белков молока, основываются на следующих их характеристиках: растворимость, термоустойчивость, молекулярная масса [47, 55, 194, 214, 216, 263, 281, 282] (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Основные характеристики белков молока

Белок	Изоэлектрическая точка, pH	Молекулярная масса, кДа
Казеин		
α_{s1} - казеин	4,44-4,76	22,1-23,7
α_{s2} - казеин	–	25,2
β - казеин	4,83-5,07	23,9-24,0
κ - казеин	5,45-5,77	19,0
β -лактоглобулин	5,13	18,2-19,0
α -лактальбумин	4,2-4,5	14,1-14,2
альбумин сыворотки крови	4,7-4,9	66,3
иммуноглобулины, в том числе:		
иммуноглобулин G ₁	5,5-6,8	153-163
иммуноглобулин G ₂	7,5-8,3	146-154
иммуноглобулин А	–	385-417
иммуноглобулин М	–	960-1000

По молекулярной массе белки молока можно разделить на три группы: 1-я группа включает казеин, β -лактоглобулин, α -лактальбумин, 2-я группа – альбумин сыворотки крови, 3-я группа – все иммуноглобулины. Для белков казеиновой группы необходимо отметить особенность: в молоке он представлен в основном в виде мицелл, размеры которых нерегулярны и достигают нескольких сотен кДа. Значения изоэлектрических точек белков достаточно близки, однако, это не исключает возможности использования данной характеристики для фракционирования белков.

Следует отметить, что до настоящего времени нет единого абсолютного способа, позволяющего провести полное фракционирования белков молочных продуктов, в том числе в промышленных условиях. В связи с этим необходимо рассматривать применяемые методы: осаждение, тепловая денатурация, мембранная фильтрация, хроматографическое разделение в контексте их возможного комбинирования [266].

Метод осаждения является основным. Он базируется на разделении белков в соответствии с их различной растворимостью. Осаждение может проводиться под действием кислот, ферментов, солей [202]. Этот метод используют при производстве сыра, творога, казеина и др.

Классическим примером применения способа осаждения кислотами является коагуляция казеина при значении рН 4,6. Данное значение рН достигается путем добавления/продуцирования молочной или внесения минеральных кислот. Следует отметить, что этот процесс обратимый: возможен последующий перевод казеина в растворимое состояние при добавлении избытка гидроксида щелочного или щелочноземельного металла.

Применение способа осаждения ферментами используется с целью коагуляции казеина. При этом происходит разрыв связи протеолитическими ферментами между аминокислотными остатками в положении 105 (фенилаланин) и 106 (метионин) к-казеина. Фракционирование солями основывается на избирательном разделении белков вследствие их различной растворимости в растворах солей. Применение высаливания дает возможность разделения сывороточных белков молока на фракции путем осаждения их растворами $MgSO_4$ и $(NH_4)_2SO_4$ при различном рН. При рН 6,0 из сыворотки, свободной от казеина, после добавления $(NH_4)_2SO_4$ до полунасыщения

выделяются иммуно- и псевдоглобулины, при рН 4,8 – большая часть β -лактоглобулина. При последующем снижении величины рН осаждаются α -лактальбумин с остатками β -лактоглобулина [198, 249].

Тепловая денатурация эффективна для выделения отдельных фракций белка молока. Этот метод является технологической основой производства альбумина, в комбинации с предыдущим – производство термокислотных сыров и копреципитатов. На способность белков денатурировать оказывает влияние значение рН раствора, продолжительность обработки и температура [202]. Тепловая денатурация характерна для процессов выделения сывороточных белков молока, так как они являются наиболее термолабильной частью всех белков молока. Известно, что поведение сывороточных белков во время тепловой обработки при рН 3,0 заметно отличается: β -лактоглобулин проявляет максимум термоустойчивости. При рН 6,0 и 7,5 точка денатурации почти всех белков отличается незначительно (таблица 1.7) [194].

Таблица 1.7 – Термодинамические характеристики тепловой денатурации сывороточных белков

Белок	Температура денатурации, °С		
	рН 3	рН 6	рН 7,5
β -лактоглобулин	82	78	71
α -лактальбумин	—	63	62
иммуноглобулин G	53	78	77
альбумин сыворотки крови	—	68	66

Большее количество чистых белков может быть получено с использованием **хроматографических методов**. Эти методы являются технологической основой для производства компонентов для функциональных продуктов. Для фракционирования и выделения белков молока в настоящее время используются различные типы хроматографии:

- гель-фильтрация;
- адсорбционная хроматография;
- ионообменная хроматография.

Гель-фильтрация использована в настоящих исследованиях для фракционирования и разделения белков обезжиренного молока: казеина и сывороточного белка. Процесс гелевой фильтрации осуществляется за счет вымывания частиц разделяемого раствора через слой набухшего геля растворителем. Большие молекулы, не проникая в поры геля, свободно проходят с потоком растворителя. Более мелкие молекулы распределяются в жидкой среде снаружи и внутри гелевых частиц. Молекулы, находящиеся внутри геля, элюируются медленнее. Следовательно, компоненты раствора выходят из колонки соответственно убыванию их молекулярной массы (рисунок 1.4) [1, 266].

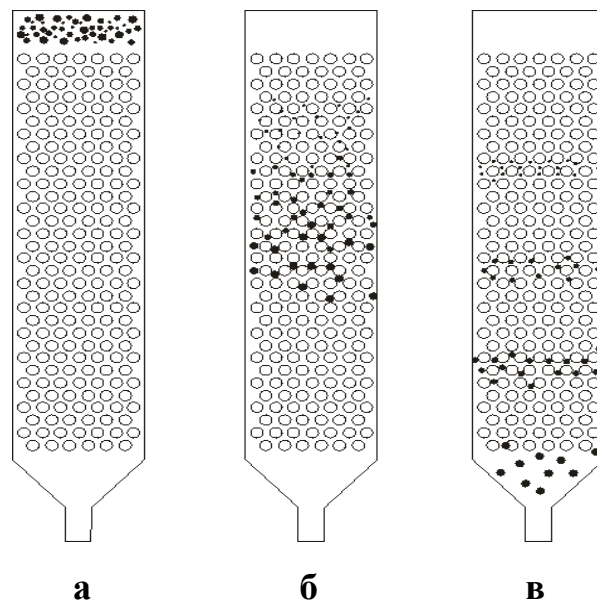


Рисунок 1.4 – Принцип гель-фильтрации (кружки – гранулы пористой матрицы, черные точки разных размеров – компоненты смеси)

а – момент внесения смеси в колонку, б – начало фракционирования,

в – начало выхода из колонки фракций наиболее крупных молекул

Гель-проникающая хроматография не подходит для фракционирования казеина, потому что он представлен мицеллами разного размера. Сывороточные белки могут быть успешно фракционированы гель-фильтрацией на β -лактоглобулин и α -лактальбумин, сывороточный альбумин и лактоферрин.

Адсорбционная хроматография основана на применении твердых пористых сорбентов, которые представляют собой неподвижную фазу. Равновесное

распределение вещества между подвижной и неподвижной фазами определяется процессами его сорбции и десорбции на поверхности сорбента. В качестве сорбентов используются активированный уголь, синтетические смолы и природные сорбенты [166, 250].

Ионообменная хроматография на сегодняшний день является наиболее часто используемым видом хроматографии для фракционирования белков молока. Этот метод основан на связывании смеси электрически заряженных белков с матрицей. Фракционирование белков обезжиренного молока ионообменной хроматографией происходит эффективнее, если предварительно разделены казеин или белки молочной сыворотки [266].

Ионообменная хроматография применяется при выделении лактоферрина из смеси сывороточных белков. Лактоферрин имеет изоэлектрическую точку в щелочной области (рН 9,0-9,5), т.е. этот белок имеет положительный заряд в сладкой сыворотке с нормальным рН 6,2-6,6, в то время как остальные белки сыворотки, например, лактоглобулин, лактальбумин имеют при том же рН отрицательный заряд. Молекулы лактоферрина при взаимодействии зарядов связываются с функциональными группами катионного обменника, что приводит к фиксации этих молекул на ионообменной смоле, остальные сывороточные белки, имея отрицательный заряд, проходят сквозь ионообменную колонну [266].

Применение **мембранных методов** позволяет выделить компоненты с заданными молекулярными массами, сконцентрировать их до определенного уровня без изменения нативных свойств и таким образом получить широкую гамму продуктов определенного состава и свойств [10, 33, 44, 125, 134, 141, 145, 161, 179, 191, 192, 226, 233, 260, 262, 280, 285, 287].

Мембранные методы позволяют глубокое разделение молочных белков в соответствии с их размером в следующем порядке возрастания молекулярной массой: α -лактальбумин < β -лактоглобулин < сывороточный альбумин < лактоферрин < иммуноглобулины < мицеллы казеина [266]. Если с целью разделения белковых фракций сыворотку последовательно пропускать через мембраны с отсекаемыми

молекулярными массами 100 кДа (концентрирование №1), 50 кДа (концентрирование №2) и 5 кДа (концентрирование №3), в результате получаем концентрат №1, обогащенный высокомолекулярными белками с массой более 100 кДа (иммуноглобулины), концентрат №2 – белками с молекулярными массами 100-50 кДа (лактоферрин, лактопероксидаза, сывороточный альбумин), концентрат №3 – белками с молекулярными массами 50-5 кДа (α -лактальбумин, β -лактоглобулин) [116, 220].

1.2.4 Лабораторные методы идентификации белковых фракций

Для идентификации отдельных белковых фракций молока используются следующие методы: электрофорез, хроматография и иммунохимия. Данные методы позволяют проводить количественное определение отдельных фракций белков, но стоит отметить, что в большей степени они подходят для качественного определения [266]. В наших исследованиях был использован вертикальный электрофорез в полиакриламидном геле.

Электрофорез. Электрофорез – метод разделения веществ, основанный на явлении миграции заряженных микрочастиц в жидкой среде под действием внешнего электрического поля [118, 266]. Физический принцип метода электрофореза заключается в следующем. Молекула белка в растворе при любом pH, отличающемся от её изоэлектрической точки, имеет некий средний заряд. Это приводит к тому, что белок движется в электрическом поле. Движущая сила зависит от суммарного заряда частицы и ее радиуса [202]. При электрофорезе в полиакриламидном геле миграция белков осуществляется в соответствии с их отношением заряда к массе. Щелочная среда, в которой белки заряжены отрицательно, является наиболее приемлемой для молочных белков. При данном методе белки элюируют в следующей последовательности: α -лактальбумин, β -лактоглобулин, α_{s2} -казеин, α_{s1} -казеин, κ -казеин, β -казеин [266].

Хроматография. *Ионообменная хроматография.* Разделение белков с помощью ионообменной хроматографии основано на их способности связываться с ионообменными смолами. Молочные белки не могут быть проанализированы

одновременно. Определение казеина и сывороточных белков проводится на различных типах колонок [266].

Гель-хроматография. В литературе встречается пример определения фракций молочных белков методом гель-хроматографии (по К. Буткусу и В. Буткене). Данный метод основан на разделении белков, элюируемых через гель декстрана (сефадекс), и последующем детектировании получаемых фракций при длине волны 280 нм [118].

Иммунохимия. Несмотря на высокую специфичность и чувствительность иммунохимии, данный метод считается недостаточным технически и аналитически по сравнению с другими методами для постоянного использования при количественном анализе белков молока. В связи с тем, что молоко является чрезвычайно сложной биологической жидкостью, развитие точных и простых в выполнении иммунологических методов определения белков молока всегда было затруднено. Сложность проведения реакции антиген-антитело для казеинов заключается в их мицеллярной структуре. Разработана методика проведения анализа, которая позволяет определять только неповрежденные казеины, а не продукты их распада. Определение проводится быстро (10 минут), процесс автоматизирован и успешно применяется для сырья, питьевого молока и сыров.

В отличие от казеина, белки молочной сыворотки имеют хорошие антигенные свойства и обычно не гидролизуются в сыром молоке. Тем не менее, во время термической обработки они подвержены конформационным изменениям и связыванию с другими белками, и, следовательно, к изменению реакции антиген-антитело. В связи с этим разработаны методы, основанные на получении антител, способных обнаруживать, например, нативный или денатурированный α -лактальбумин или β -лактоглобулин.

Поскольку молочные белки являются основными пищевыми аллергенами, иммунологические методы, позволяющие обнаруживать следы этих белков в комплексных пищевых продуктах, имеют большое значение [266].

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. В результате системного анализа организационной модели переработки молочной сыворотки определено, что наиболее эффективна ее переработка при выделении отдельных центров. Основным организационным принципом является принцип концентрации производства по переработке сыворотки.

Проведенный анализ показал, что создание *единой системы переработки молочной сыворотки в Республике Беларусь, базирующейся на региональных центрах*, позволит максимально полно использовать технологические возможности по развитию отрасли в данном направлении. При формировании центров желательно добиваться поставок однородного по своему составу сырья – переработку сладкой и кислых сортов молочной сыворотки целесообразно разделять на отдельные технологические потоки.

2. Установлено, что наиболее емким внутренним рынком для продуктов переработки молока, и особенно сыворотки, является производство сырья для производства кормовых продуктов. Особенно перспективно направление производство как компонентов, так и самого ЗЦМ. В секторе пищевых продуктов это сыворотка сухая и сухая деминерализованная для поставок на экспорт.

3. Проведен анализ методов выделения белковой фракции молока и продуктов его переработки. Выявлено, что перспективными с позиции технологии массовых продуктов являются мембранные методы, которые позволяют получать белковые комплексы, содержащие группы белков, сходные по размеру. Для получения однородных белковых фракций целесообразно применять методы, основанные на хроматографическом разделении белковых комплексов.

Глава 2 СТРУКТУРА РАБОТЫ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Структурная схема работы

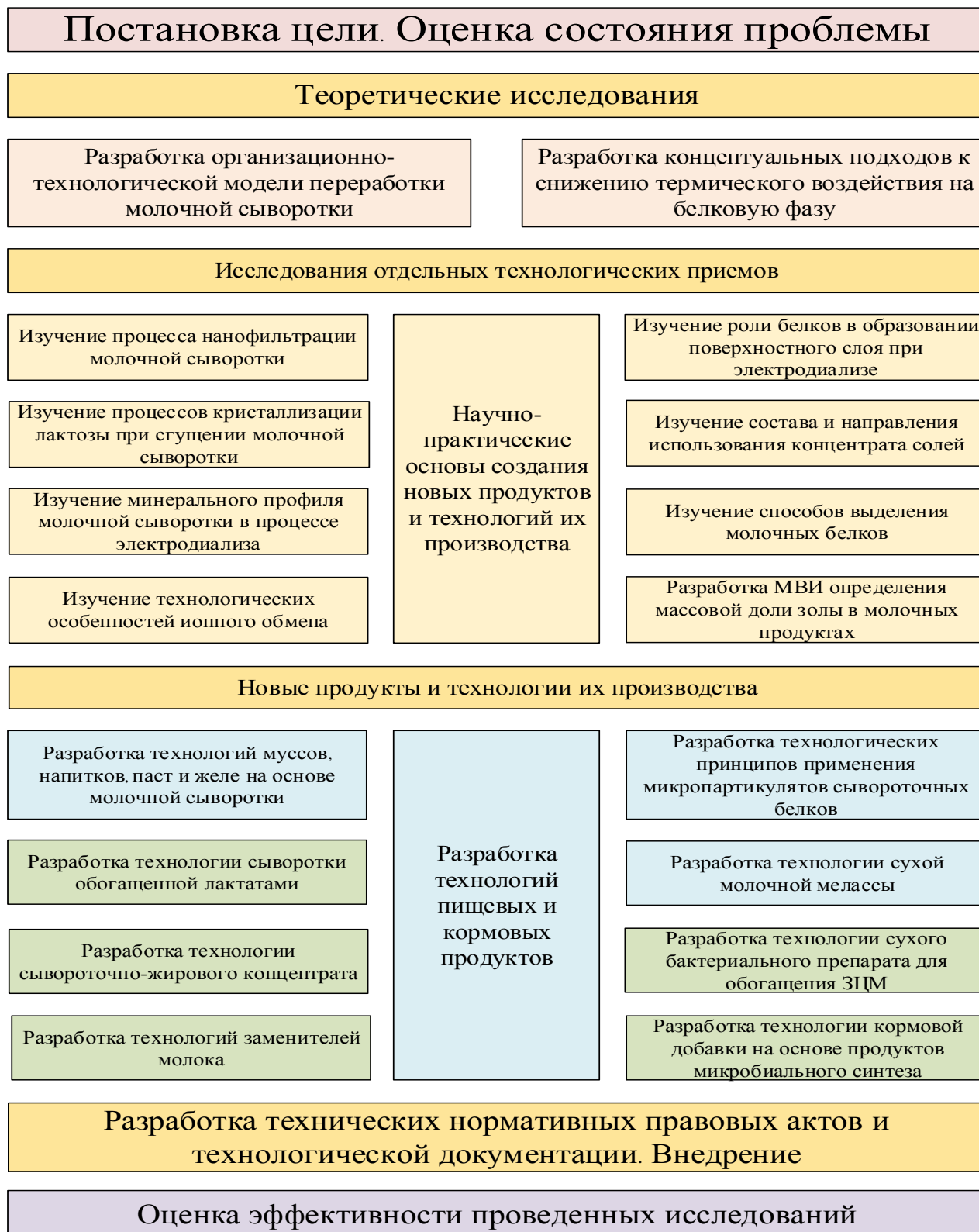


Рисунок 2.1 – Блок-схема исследований

2.2 Методы определения физико-химических и микробиологических показателей

В качестве сырья для проведения исследований использованы образцы молока, различных видов молочной сыворотки, предоставляемые молокоперерабатывающими предприятиями Республики Беларусь.

Для определения физико-химических показателей применялись арбитражные и специальные методы проведения испытаний (Приложение А):

Вода питьевая. Методы определения хлоридов: ГОСТ 4245-72.

Консервы молочные. Йодометрический метод определения сахаров: ГОСТ 29248-91.

Концентраты пищевые. Методы определения золы: ГОСТ 15113.8-77. Определение массовой доли золы в молоке и молочных продуктах. Методика выполнения измерений: МВИ.МН 5155-2015.

Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии: МВИ МН 1363-2000.

Методика выполнения измерений определения массовой доли небелкового азота методом Кьельдаля: «Состав и свойства молока как сырья для молочной промышленности».

Методика выполнения измерений содержания нитратов, нитритов: «Лабораторные исследования в ветеринарии: химико-токсикологические методы» С.283-289.

Молоко и молочная продукция. Определение жирнокислотного состава жировой фазы методом газовой хроматографии: ГОСТ 32915-2014.

Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества: ГОСТ 3 626-73.

Молоко и молочные продукты. Методы определения жира: ГОСТ 5867-90.

Молоко и молочные продукты. Методы определения плотности: ГОСТ 3625-84.

Молоко и молочные продукты. Определение содержания кальция, натрия, калия и магния. Спектрометрический метод атомной абсорбции: СТБ ISO 8070-2012.

Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию: ГОСТ 3622-68.

Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу: ГОСТ 26809-86.

Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности: ГОСТ 3624-92.

Молоко. Идентификация белкового состава электрофоретическим методом в полиакриламидном геле: ГОСТ Р 53761-2009.

Молоко. Метод измерения pH: ГОСТ 26781-85.

Молоко. Методы измерения температуры: ГОСТ 26754-85.

Молоко. Определение содержания азота. Часть 1. Метод Кьельдаля: СТБ ISO 8968-1-2008.

Молочные продукты. Методы определения хлористого натрия: ГОСТ 3627-81.

Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов: ГОСТ 30178-96.

Сырьё и продукты пищевые. Метод определения фосфора: ГОСТ 30615-99.

Микробиологические исследования проводились в соответствии с (Приложение А):

Микробиологические нормативы и методы анализа продуктов детского, лечебного и диетического питания и их компонентов: СанПиН 42-123-4940-88.

Молоко и молочные продукты. Метод определения *Staphylococcus aureus*: ГОСТ 30347-97.

Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа: ГОСТ 9225-84.

Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа: ГОСТ 9225-84.

Молоко и молочные продукты. Методы определения содержания спор мезофильных анаэробных бактерий: ГОСТ 25102-90.

Молоко. Часть 1. Метод определения количества соматических клеток с применением микроскопа (контрольный метод): СТБ ISO 13366-1-2012.

Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов: ГОСТ 26668-85.

Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов: ГОСТ 26669-85.

Продукты пищевые. Метод выявления и определения бактерий *Listeria monocitogenes*: СТБ ГОСТ Р 51921-2011.

Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов: ГОСТ 10444.12-88.

Продукты пищевые. Метод определения количества аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов: ГОСТ 10444.15-94.

Продукты пищевые. Методы определения молочнокислых микроорганизмов: ГОСТ 10444.11-89.

Органолептический анализ проводился в соответствии (Приложение А):

Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 1. Общее руководство по комплектованию, отбору, обучению и мониторингу экспертов: ГОСТ Р ИСО 22935-1-2011.

Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки: ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011.

Органолептический анализ. Методология. Метод исследования вкусовой чувствительности: ГОСТ Р ИСО 3972-2005.

Органолептический анализ. Методология. Обучение испытателей с обнаружению и распознаванию запахов: ГОСТ Р ИСО 5496-2005.

Органолептический анализ. Методология. Оценка пищевых продуктов с помощью методов с применением шкал: ISO 4121-2003.

Погрешности при определении показателей определялись в соответствии (Приложение А):

Массовая доля сухого вещества, % – ГОСТ 3626-73, п. 3 – Расхождение между параллельными определениями должно быть не более 0,2 %. За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

Массовая доля белка, % – СТБ ISO 8969-1-2008 – Абсолютная разность между двумя независимыми единичными результатами 0,038 %.

Массовая доля небелкового азота, % – абсолютная погрешность 0,003 %.

Массовая доля золы, % – ГОСТ 15113.8-77 п. 2 – За окончательный результат принимают среднее арифметическое двух параллельных определений. Допускаемые расхождения между которыми не должны превышать 0,02 % при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Массовая доля лактозы, % – ГОСТ 29248-91, п. 5 – предел допускаемой погрешности $\pm 1,0$ % массовой доли лактозы при доверительной вероятности $P = 0,95$ и расхождении между двумя параллельными определениями не более 0,2 % массовой доли лактозы.

Массовая доля жира, % – ГОСТ 5867-90, п. 2 – пределы допускаемой погрешности результатов приняты как для молока и молочных продуктов без сахара при доверительной вероятности 0,90 предел допускаемой погрешности, % массовой доли жира (\pm) соответствуют: при измерении объема пробы пипеткой тип жиромера 1-6 и 1-7 – 0,08%; при измерении массы пробы весами тип жиромера 1-6 и 1-7 – 0,065%, 1-40 – 0,30 %.

Массовая доля влаги, % – ГОСТ 15113.4-77, п. 2 – вычисления с погрешностью не более $\pm 0,01$ %, расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,25 %.

pH, ед. – ГОСТ 26781-85 – за окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных измерений, расхождение между которыми не должно превышать 0,03.

Титруемая кислотность, °Т – ГОСТ 3624-92, п. 3 – Допускаемая погрешность результата анализа при принятой доверительной вероятности $P = 0,95$, составляет: $\pm 1,9$ °Т – для молока, молока с наполнителями, сливок, простокваши, ацидофильного молока, кефира, кумыса, других кисломолочных продуктов и мороженого. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать: 2,6 °Т – для молока, молока с наполнителями, сливок, простокваши, ацидофильного молока, кефира, кумыса,

других кисломолочных продуктов и мороженого. За окончательный результат анализа принимают среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений.

Массовая доля сывороточных белков, % – ГОСТ Р 54756-2011 – погрешность 0,08 %.

Массовая доля казеина, % – СТБ ISO 17997-1-2012.

Сходимость опытов. Неказеиновый азот. Абсолютная разность между результатами двух независимых отдельных испытаний, полученных в результате использования одного и того же метода на идентичном исследуемом материале в одной и той же лаборатории одним и тем же лаборантом, используя одно и то же оборудование, в течение короткого промежутка времени, не более чем в 5% случаев будет превышать: массовую долю азота в: 0,004 % или массовую долю казеина в: 0,03 %. Казеиновый азот. Абсолютная разность между результатами двух независимых отдельных испытаний, полученных в результате использования одного и того же метода на идентичном исследуемом материале в одной и той же лаборатории одним и тем же лаборантом, используя одно и то же оборудование, в течение короткого промежутка времени, не более чем в 5% случаев будет превышать: массовую долю азота в: 0,006 % или массовую долю казеина в: 0,04 %.

Содержание кальция, магния, калия, натрия, мг/л – СТБ ISO 8070/IDF 119-2014. Абсолютное различие между двумя независимыми отдельными результатами испытаний, полученными, используя одинаковый метод с идентичным тестируемым материалом, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, используя одно и то же оборудования в течение непродолжительного периода времени, в не более 5 % случаев будут больше, чем: для натрия (Na^+): 13%; для калия (K^+): 10 %; для кальция (Ca^{2+}) 8 %; для магния (Mg^{2+}) 8 %. Каждый процент выражается относительно арифметического среднего результатов для натрия, калия, кальция и магния, соответственно.

Массовая доля (содержание) хлор-ионов, мг/дм³ – ГОСТ 4245-72, п. 2 – относительная погрешность 2 %.

Содержание нитритов, нитратов, мг/кг – относительная погрешность 18 % при $P=0,95$.

Массовая доля фосфора, мг/кг – за окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не должны превышать $P=0,95$.

Содержание цинка, меди, железа, мг/кг – ГОСТ 30178-96 – допускаемое расхождение между двумя параллельными результатами (сходимость r) зависит от массовой доли элемента в продукте и при $P=0,95$ не должно превышать значений, указанных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Допустимые расхождения при определении микроэлементов

Элемент	Массовая доля элемента в продукте m , $млн^{-1}$	Сходимость r , $млн^{-1}$	Относительное стандартное отклонение сходимости $100S_r/m$, %
Медь	0,5	0,22	16
	1,0	0,31	11
	10	0,76	3
	30	1,2	1
Цинк	1,0	0,34	12
	10	2,4	9
	50	9,6	7
	100	17	6
Железо	10	3,8	13
	50	9,3	7
	100	14	5
	200	20	4

Содержание марганца, мг/кг – ГОСТ Р 55484-2013 – относительная погрешность 20 % при $P=0,95$.

Плотность, $кг/м^3$ – ГОСТ 3625-84, п. 2 – допускаемое расхождение между результатами определения одним типом ареометров в различных условиях не должно превышать $0,8 кг/м^3$ ($P=0,99$).

Массовая доля сахарозы, % – ГОСТ 3628-78, п. 2 – расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,5 %.

Массовая доля поваренной соли, % – ГОСТ 3627-81, п. 4 – допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 0,2 %.

Индекс растворимости – ГОСТ 30305.4-95 – расхождение между результатами двух параллельных измерений, не должно превышать $0,5 см^3$. Абсолютная погрешность измерения находится в интервале с границами $\pm 0,25 см^3$ сырого осадка при вероятности $P=0,95$.

2.3 Математическая обработка экспериментальных данных

Эксперименты проводились в трех-пяти кратной повторности. Меньшее количество опытов соответствовало опытам, для которых предварительно была проведена оценка дисперсии, как правило, это при определении физико-химических показателей стандартизированными методами. Количество факторов и дискретность их изменения в каждом конкретном эксперименте устанавливались исходя из возможностей оборудования и диапазона допустимого изменения параметра, обусловленного технологическими требованиями и свойствами продукта. Однако количество этих точек было не менее 5. Адекватность полученных моделей проводили сравнением дисперсий с использованием критерия Фишера, расчетное значение которого не превышало табличного при уровне значимости 0,05. Качество модели определяли коэффициентом детерминации R^2 , который для разрабатываемых моделей был больше 0,95. Уровень значимости коэффициентов уравнений оценивался с использованием критерия Стьюдента на уровне 0,05. Обработка результатов, полученных при прямых измерениях, проводилась по следующему алгоритму [27, 60, 65, 181]:

– вычисление среднего значения после определения показателя с выбранной повторностью

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (2.1)$$

где \bar{x} – среднее значение измеряемой величины, x_i – измеренное значение величины, n – повторность опытов.

– вычисление квадратов погрешности отдельных измерений

$$(\Delta x_i)^2 = (\bar{x} - x_i)^2 \quad (2.2)$$

– определение среднеквадратичной ошибки среднего арифметического

$$S_{-x} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.3)$$

– расчет доверительного интервала измерения (погрешности)

$$\Delta x = S_{x^-} \cdot t \quad (2.4)$$

Значение доверительной вероятности P принимали равным 0,95, коэффициент Стьюдента t для заданного числа произведенных измерений n выбирался из таблиц.

– сравнение с погрешностью прибора. Если одна из этих величин больше другой более чем в три раза, то окончательно в качестве погрешности измерения принимаем большее. Если нет, то окончательный расчет погрешности измерения проводим следующим образом

$$\Delta x = \sqrt{(S_{x^-} \cdot t)^2 + \delta^2}, \quad (2.5)$$

где δ – погрешность прибора.

Окончательный результат измерения записывается в виде

$$x = x^- \pm \Delta x, \quad (2.6)$$

При этом относительная погрешность результата измерения в процентах определяется как

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x^-} \times 100, \quad (2.7)$$

В ряде опытов для снижения разрядности и упрощения восприятия в качестве временного интервала в ходе экспериментов принимались внесистемные единицы минута (60 секунд) и час (3600 секунд).

Обработка полученных данных и построение графиков проводилась с использованием пакетов прикладного программного обеспечения на персональном компьютере.

2.4 Метрологические характеристики методики определения массовой доли золы в молоке и молочной продукции

Стандартами Республики Беларусь не предусмотрено нормирование массовой доли золы в молочных продуктах, однако контроль этого показателя является всё более востребованным. Особенно важным это становится при освоении производства деминерализованных продуктов – основного сырья для функциональных продуктов питания нового поколения. В рамках задания подпрограммы «Процессы и технологии пищевых производств» государственной программы научных исследований «Инновационные технологии в АПК» на 2011–2015 гг. была разработана методика выполнения измерений (МВИ) по определению массовой доли золы в молоке и молочных продуктах, которая адаптирована для использования на предприятиях молочной промышленности.

В ходе работы были определены метрологические характеристики методики определения массовой доли золы в молоке и молочной продукции.

Материалы и методы.

Методика основана на определении золы гравиметрическим способом после озоления пробы в муфельной печи при температуре (550 ± 25) °С.

Подготовка проб продуктов.

Подготовку проб молока и молочных продуктов (кефира, сметаны, йогурта, творога, сыра сычужного, сыра плавленого, сыворотки солёной, сыворотки сухой) проводили ГОСТ 26809-86 п. 3, СТБ 1552-2012.

Подготовка к выполнению испытаний.

Новые тигли или чашки после обычной мойки дополнительно обрабатывали водным раствором 1:1 уксусной или азотной кислоты в течение часа, затем промывали водопроводной водой и ополаскивали дистиллированной водой.

Чистые тигли (чашки) предварительно прокаливали в муфельной печи при температуре (550 ± 25) °С не менее 1 ч, охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры и определяли массу тигля (чашки) с отсчётом результата измерений до 0,0001 г. Этот процесс повторяли (прокаливая тигли при температуре

(550 ± 25) °С в течение 30 мин) до достижения постоянной массы тигля, т.е. разность результатов двух последовательных взвешиваний не превышала 0,0001г). Прокаленные и доведённые до постоянной массы тигли (чашки) хранили в эксикаторе, который заполняли кусками прокаленного хлористого кальция (кроме пылевидного) на одну треть высоты его конической части.

Используемые приборы и лабораторное оборудование.

- Весы электронные с пределом допускаемой погрешности не более $\pm 0,5$ мг.
- Электропечь муфельная, обеспечивающая поддержание температуры (550 ± 25) °С.
- Шкаф сушильный электрический с диапазоном нагрева от 65 °С до 180 °С.

Проведение испытаний.

Из аналитической пробы молочного продукта брали навеску массой от 3 до 5 г с погрешностью не более 0,0001 г, которую помещали в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель или чашку.

При испытании жидкого молочного продукта тигель (чашку) с навеской предварительно выпаривали до сухого остатка на кипящей водяной бане при температуре 100 °С, затем подсушивали в сушильном шкафу при температуре 100 °С и осторожно обугливали на электрической плитке до удаления основной части органических веществ.

Тигель (чашку) с пастообразным молочным продуктом ставили в сушильный шкаф с температурой 100 °С и подсушивали продукт до сухого состояния. После этого устанавливали тигель (чашку) с продуктом на электроплитку и медленно обугливали до прекращения выделения дыма.

Тигель (чашку) с сухим или твёрдым молочным продуктом устанавливали на электроплитку и проводили медленное обугливание до прекращения выделения дыма.

В процессе обугливания не допускали воспламенения или разбрызгивания, во избежание потери пробы.

Затем тигли (чашки) помещали в муфельную печь, нагретую до $(200 \pm 25)^\circ\text{C}$, постепенно повышали температуру (на 50°C через каждые 30 мин) до $(550 \pm 25)^\circ\text{C}$. При проведении озоления осуществляли контроль температурного режима по электронному дисплею муфельной печи (соответствие заданной температуры и температуры в камере муфельной печи).

Минерализацию считали законченной, когда зола стала белого или серо-белого цвета без обугленных чёрных частиц.

Далее тигли (чашки) с золой охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивали с отсчётом результата измерения до 0,0001 г. После этого тигли (чашки) с золой повторно прокаливали в печи при температуре $(550 \pm 25)^\circ\text{C}$ в течение 1 часа, охлаждали в эксикаторе и взвешивали с отсчётом результата измерения до 0,0001 г. Взвешивание тигля (чашки) с золой проводили быстро, так как зола гигроскопична.

Озоление проводили до постоянной массы тигля (чашки) с продуктом (расхождение в массе не должно быть более 0,0005 г). В случае увеличения массы тигля (чашки) с продуктом после повторного прокаливания, для расчёта брали значение результата измерения массы тигля (чашки) с золой при предыдущем взвешивании.

Результаты исследований и их обсуждение.

Одной из основных целей стандартизации является устранение различий между пользователями (лабораториями), насколько это возможно. Данные, полученные в эксперименте по оценке точности, должны свидетельствовать об эффективности достижения данной цели. Определение параметров МВИ по определению массовой доли золы в молоке и молочных продуктах проводили в соответствии с существующими требованиями [213]. В процессе оценки МВИ определяли следующие параметры: показатель повторяемости, показатель воспроизводимости, неопределённость измерений.

Четыре фактора (время, калибровка, оператор и оборудование) в условиях измерений в пределах одной лаборатории считали наиболее влияющими на изменчивость измерений (таблица 2.2.).

Таблица 2.2 – Четыре ключевых фактора и их состояние

Фактор	Условия измерений в лаборатории	
	Состояние 1 (одинаковые)	Состояние 2 (различные)
Время	Измерения, проведенные в одно и то же время	Измерения, проведенные в разное время
Калибровка	Между измерения не проводилась калибровка	Между измерения проводилась калибровка
Оператор	Один и тот же оператор	Разные операторы
Оборудование	Одно и то же оборудование без перекалибровки	Разное оборудование

В условиях повторяемости все четыре фактора находились в состоянии 1 (одинаковые) (таблица 2.1). Для промежуточных условий прецизионности один или более факторов находились в состоянии 2 (разные), указанном в таблице 1. В условиях воспроизводимости результаты получали различные лаборатории, таким образом, не только все четыре фактора находились в состоянии 2, но также присутствовали эффекты, вызванные различиями между лабораториями в их управлении и обслуживании, общем уровне подготовки операторов, стабильности и проверке результатов испытаний и т.д.

Численные значения рабочих параметров МВИ и показателей точности результатов измерений оценивали на основании экспериментальных данных. Экспериментальные данные были получены в ходе межлабораторных экспериментов, организованных в трёх производственных лабораториях пищевых предприятий.

Со статистической точки зрения, лаборатории для участия в эксперименте выбраны случайным образом из числа лабораторий, пользующихся методом измерений. По условиям эксперимента, участники не должны состоять исключительно из тех лабораторий, которые уже приобрели особый опыт в ходе процесса стандартизации метода, а так же не должны состоять из специализированных «эталонных» лабораторий, с целью демонстрации той точности, которая может достигаться для метода, выполняемого

высококвалифицированным персоналом.

С целью определения метрологических характеристик методики выполнения измерений (МВИ) массовой доли золы были использованы 9 типовых образцов (уровней) молочных продуктов, а именно, молока, кефира, йогурта, сметаны, творога, сыворотки солёной, сыворотки сухой, сыра сычужного, сыра плавленого.

При этом был определен диапазон данных от 0,01 до 12,50 %.

Анализ данных, который должен рассматриваться в качестве статистической задачи, предусматривал три следующих один за другим этапа:

- критическое рассмотрение данных с целью обнаружения и обработки выбросов и других нарушений;
- расчёт предварительных значений прецизионности и средних значений для каждого уровня отдельно;
- установление окончательных значений прецизионности и средних значений.

При статистическом анализе рассчитывали оценки для каждого образца отдельно:

- дисперсии повторяемости S_r^2 ;
- межлабораторной дисперсии S_L^2 ;
- дисперсии воспроизводимости $S_R^2 = S_r^2 + S_L^2$;
- среднего значения m ;
- предела повторяемости r и предела воспроизводимости R .

Определение повторяемости и воспроизводимости.

Подготовленные образцы анализировались в соответствии с проектом разработанной МВИ по определению массовой доли золы в молоке и молочной продукции в условиях повторяемости и воспроизводимости в разных лабораториях с изменяющимися факторами: время, оператор, калибровка, оборудование.

Перед вычислением показателей повторяемости и воспроизводимости проводилась проверка на наличие выбросов и разбросов с помощью числового

метода по критерию Граббса в соответствии с требованиями [213]. Критерий Граббса (G) представлял главным образом критерий межлабораторной изменчивости и рассчитывался на основании расположенных в порядке возрастания данных значения по каждой лаборатории x_i с целью проверки значимости наблюдений. Критерий построен на проверке гипотезы, что наибольший или наименьший результат в совокупности результатов испытаний является выбросом.

Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась в соответствии с алгоритмом, изложенным в [213]. После проверки на выбросы определяли средние значения показателя для каждой лаборатории для конкретного уровня \bar{y}_{ij} и стандартных отклонений S_{ij} ячейки. Для каждого уровня рассчитывали три дисперсии. Это дисперсия повторяемости S_{rj} , межлабораторная дисперсия S_{Lj} и дисперсия воспроизводимости S_{Rj} . Для удобства определения дисперсий рассчитывали коэффициенты T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5 .

$$T_1 = \sum_{i=1}^j (n_i \cdot \bar{y}_i), \quad (2.8)$$

$$T_2 = \sum_{i=1}^j (n_i \cdot (\bar{y}_i)^2), \quad (2.9)$$

$$T_3 = \sum_{i=1}^j n_i, \quad (2.10)$$

$$T_4 = \sum_{i=1}^j n_i^2, \quad (2.11)$$

$$T_5 = \sum_{i=1}^j ((n_i - 1) \cdot S_i^2), \quad (2.12)$$

$$S_r^2 = \frac{T_5}{T_3 - p}, \quad (2.13)$$

$$S_L^2 = \left[\frac{T_2 \cdot T_3 - T_1^2}{T_3 \cdot (p - 1)} - S_r^2 \right] \cdot \left[\frac{T_3 \cdot (p - 1)}{T_3^2 - T_4} \right], \quad (2.14)$$

$$S_R^2 = S_r^2 + S_L^2, \quad (2.15)$$

$$\bar{m} = \frac{T_1}{T_3}, \quad (2.16)$$

$$S_r = \sqrt{S_r^2}, \quad (2.17)$$

$$S_R = \sqrt{S_R^2}, \quad (2.18)$$

При проверке двух результатов испытаний, полученных в условиях повторяемости или воспроизводимости, сравнение проводили с использованием значения предела повторяемости r , %, или предела воспроизводимости R , %:

$$r = 2,8S_r, \quad (2.19)$$

$$R = 2,8S_R, \quad (2.20)$$

Используя рассчитанные средние значения $\overline{y_{ij}}$ и стандартные отклонения S_{ij} ячеек, а также вышеперечисленные формулы, произвели расчет для каждого уровня средних значений \overline{m} , стандартного отклонения повторяемости S_{rj} , стандартного отклонения воспроизводимости S_{Rj} , предела повторяемости r , предела воспроизводимости R .

Результаты проведенных научных исследований показали, что настоящая методика обеспечивает определение массовой доли золы в соответствии с областью применения с показателями точности согласно таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Метрологические характеристики МВИ по определению массовой доли золы в молоке и молочных продуктах

Виды продукции	Диапазон измерений, %	Показатель повторяемости (СКО повторяемости), σ_r , %	Показатель воспроизводимости (СКО воспроизводимости), σ_R , %	Расширенная неопределённость, U , % k-2, P=95%
Молоко	0,01 – 0,80	0,047	0,048	0,10
Кефир	0,01 – 0,90	0,050	0,051	0,10
Йогурт	0,01 – 0,85	0,035	0,038	0,08
Сметана	0,01 – 0,60	0,034	0,035	0,07
Творог	0,01 – 1,15	0,050	0,051	0,10
Сыворотка солёная	0,01 – 2,50	0,119	0,163	0,33
Сыворотка сухая	0,01 – 12,50	0,115	0,117	0,23
Сыр сычужный	0,01 – 5,00	0,106	0,145	0,29
Сыр плавленый	0,01 – 5,70	0,087	0,092	0,18

Расчет неопределенности.

Оценка неопределённости измерений проводилась согласно [108]. При оценивании неопределённости использовали эмпирический подход, основной принцип которого заключался в определении оценок неопределённости из оценок прецизионности, которые получены по результатам межлабораторного эксперимента. С целью оценивания неопределённости измерения использовали стандартное отклонение воспроизводимости S_R как включающее большее по сравнению со стандартным отклонением повторяемости S_r количество составляющих неопределённости.

В данном случае оценка неопределенности (u) является стандартной неопределенностью S_R :

$$u = S_R, \quad (2.21)$$

Расширенную неопределённость определяли умножением суммарной стандартной неопределённости на выбранный коэффициент охвата k (для большинства применений рекомендуется значение k равное 2) (таблица 2.2):

$$U = 2 u, \quad (2.22)$$

Рассчитанные значения оценок расширенной неопределённости приведены в таблице 2.2.

Результаты проведенной работы позволили разработать, согласовать и утвердить методику выполнения измерений МВИ.МН 5155-2015 «Определение массовой доли золы в молоке и молочных продуктах».

2.5 Создание лабораторно-технологического комплекса

Разработка новых продуктов и технологий их производства требует наличия оборудования, позволяющего моделировать в лабораторных условиях технологические процессы. В этой связи в РУП «Институт мясо-молочной промышленности» был создан комплекс лабораторно-технологического оборудования, позволяющий отрабатывать технологические режимы и производить экспериментальные образцы продукции в краткие сроки, используя относительно небольшие объемы исходного сырья, что в свою очередь, позволяет сократить сроки и повысить качество разработки технологий.

Лабораторная баромембранная установка, позволяющая путем смены рабочего элемента моделировать процесс обратного осмоса, нанофильтрации, ультрафильтрации или микрофильтрации. В установке применяются стандартные промышленные 4 дюймовые элементы. Давление фильтрации и расход продукта через элемент регулируются частотой питающего напряжения. Предельное давление 2,1 МПа, поток продукта через элемент до 8 м³/ч. Поддержание температуры при помощи встроенного теплообменника (рисунок 2.2, 2.3).



Рисунок 2.2 – Лабораторная баромембранная установка Я23-ОУН

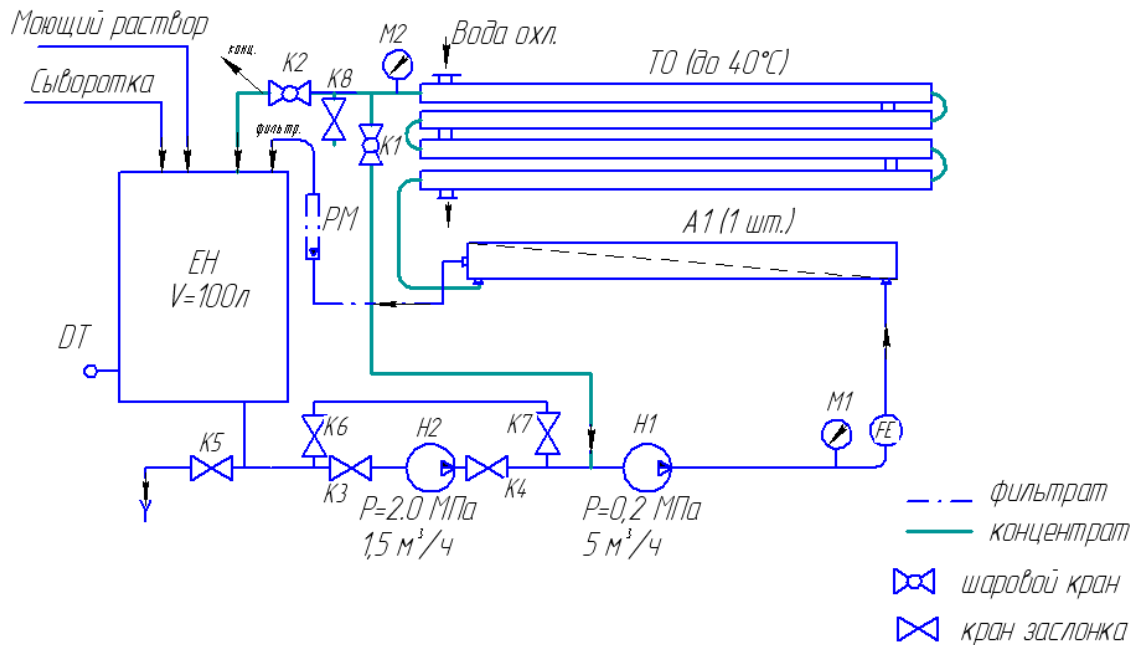


Схема принципиальная технологическая блока нанофильтрации/обратного осмоса

EH-емкость накопительная, А1-мембранный элемент, Н1-циркуляционный насос,

К1...К8-краны М1, М2, манометры, РМ-ротаметр, DT-датчик температуры,

FE-ротаметр стрелочный, ТО-теплообменник

Рисунок 2.3 – Схема лабораторной баромембранной установки

Для получения белковых концентратов и фракционирования белков была разработана специальная установка с минимальными «паразитными» объемами циркулирующих сред. В качестве мембранного рулонного элемента использовали полупроницаемые мембраны NanoUF 2521 M20 PS (далее – NanoUF 20), NanoUF 2521 M50 PS (далее – NanoUF 50). Производитель мембран ЗАО «РМ Нанотех» (РФ, г. Владимир). Данные мембранные элементы разработаны специально для концентрирования белков с молекулярным весом более 20 и 50 кДа соответственно и имеют конструкцию, обеспечивающую отсутствие застойных зон внутри самого элемента. Для исходного сырья предусмотрена емкость объемом 18 л. Подача осуществляется насосом циркуляционного типа CRN 3-7 ($Q = 3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$, $P = 0,45 \text{ МПа}$, $N = 0,55 \text{ кВт}$, питание $3 \times 380 \text{ В}$, 50 Гц). С целью регулировки производительности насоса был установлен частотный преобразователь (рисунок 2.4).

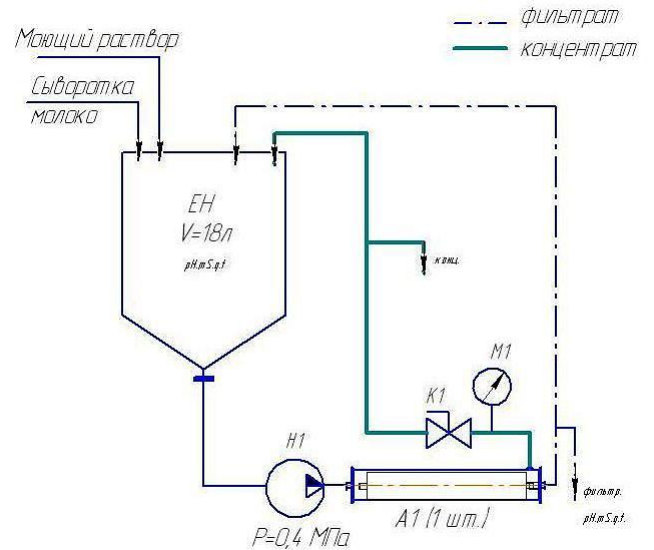


Рисунок 2.4 – Ультрафильтрационная установка для фракционирования белков

Для изучения процессов деминерализации и коррекции минерального состава использовались лабораторная установка ионного обмена (рисунок 2.5), и пилотная электродиализная установка RALEX P1 2×EDR-Y/50 производства компании MEGA (Чехия) (рисунок 2.6).



Рисунок 2.5 – Лабораторная установка ионного обмена



Рисунок 2.6 – Пилотная установка электродиализа

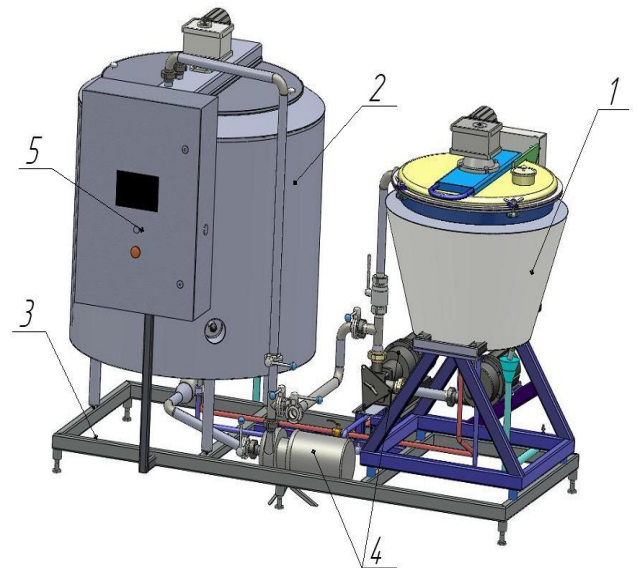
Получение жировых эмульсионных продуктов осуществлялось с использованием лабораторного клапанного гомогенизатора, позволяющего в широких пределах изменять технологические параметры обработки продуктов (рисунок 2.7).



Марка – HOMOLAB 2;
 производитель – FBF Italia S.r.l.;
 производительность – до 20 л/ч;
 рабочее давление – до 150,0 МПа;
 диспергирующее устройство –
 клапанного типа;
 количество ступеней гомогенизации – 2.

Рисунок 2.7 – Гомогенизатор лабораторный клапанный

Для изготовления жидких и пастообразных продуктов на молочной основе разработан комплекс оборудования Я23-ОДА (рисунок 2.8).



1 – установка для производства пастообразных продуктов на молочной основе;
 2 – ванна для продукта; 3 – рама; 4 – насосы типа ОНЦ и ШНК; 5 – шкаф управления

Рисунок 2.8 – Комплекс оборудования для производства пастообразных продуктов на молочной основе Я23-ОДА (внешний вид и схема)

Комплекс оборудования позволяет выполнять такие операции как смешивание, взбивание, диспергирование, эмульгирование пастообразных продуктов на молочной основе для предотвращения расслоения составных компонентов, тем самым обеспечивая однородный состав готового продукта. Нагрев сырья происходит горячим паром, охлаждение с помощью подачи в рубашку ледяной воды. Монтаж оборудования проведен на Вилейском филиале ОАО «Молодечненский молочный комбинат», где успешно эксплуатируется по настоящее время.

Для отработки режимов сгущения и сушки были изготовлены вакуум-выпарной аппарат производительностью до 25 кг/ч (рисунок 2.9) и распылительная сушильная установка (рисунок 2.10) мощностью до 5 кг/ч испарённой влаги.



Рисунок 2.9 – Лабораторный вакуум-выпарной аппарат Я23-ОВА



Рисунок 2.10 – Лабораторная распылительная установка Я23-ОСУ

Для отработки режимов производства кормовых смесей разработан комплекс Я23-ОСБ (рисунок 2.11). В качестве рабочего органа смесителя используется шнек с одним витком и набором лопаток. Бункер служит для промежуточного хранения продукта на протяжении смены. Шкаф управления располагается на раме в удобном для управления комплексом месте.

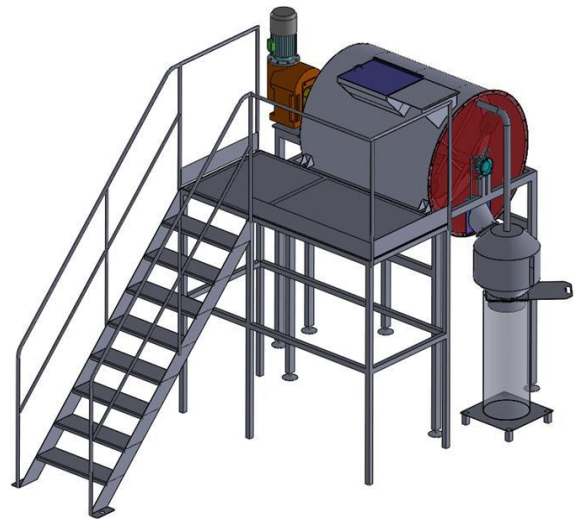


Рисунок 2.11 – Оборудование для производства сухих смесей кормового назначения Я23-ОСБ (внешний вид и схема)

С целью отработки технологии производства заменителей цельного молока выработана опытная партия продукта в производственных условиях на ОАО «Слущкий сыродельный комбинат». Технологический процесс производства заменителей цельного молока включает: транспортирование, загрузка компонентов в смеситель, смешивание и дозирование. Наличие промежуточного дозирующего бункера ускоряет процесс разгрузки, а применение воздушного перепуска позволяет снизить образование пыли при дозировании сыпучих продуктов.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Приведены результаты испытания образцов молочной продукции, проведённые в трёх производственных лабораториях, согласно разработанной МВИ по определению массовой доли золы в молоке и молочной продукции, обеспечили получение массива экспериментальных данных, статистическая обработка которых позволила рассчитать метрологические показатели. Установлено, что выполненная работа позволяет аттестовать новую методику определения содержания золы в молочных продуктах и включить её в область аккредитации испытательных и производственных лабораторий для последующего использования в целях контроля качества молочной продукции.

2. В ходе выполнения заданий раздела Б Программы Союзного государства «Повышение эффективности пищевых производств за счет переработки их отходов на основе прогрессивных технологий и техники» создан лабораторно-технологический комплекс оборудования, позволяющий отрабатывать технологические режимы и получать новые продукты на небольших объемах сырья, используя современные баро- и электромембранные, ионообменные технологии. В комплексе разрозненные процессы объединены в единый технологический поток, на котором не только комплексно реализованы разработанные технологии переработки молочной сыворотки, но и заложен потенциал к созданию новых. В состав оборудования входят установки баромембранной фильтрации в которых за счет сменных элементов можно моделировать процессы микро-, ультра-, нанофильтрации и обратного осмоса. Для работ по коррекции минерального состава была разработана ионообменная установка. Проведение технологических исследований в области концентрирования и сушки были изготовлены пленочный вакуум-выпарной аппарат и сушилка с пневматическим распылением. Комплекс оборудования по характеристикам, устройству и принципам управления в целом соответствует большим промышленным установкам, что обеспечило возможность организации повышения квалификации специалистов-производственников.

Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА

3.1 Концептуальные подходы к снижению термического воздействия на белковую фракцию молочного сырья

Разрабатывая новые технологии с позиции развития производства молочных продуктов, необходимо обратиться к термину Low-heat, подразумевая под ним не просто технологию, а совокупность принципов минимального температурного воздействия на продукт по всей цепочке его переработки с целью максимального сохранения всех полезных свойств [28, 53, 122, 183, 251]. Говоря другими словами, Low-heat – философия производства молочных продуктов, прежде всего, сухих (рисунок 3.1).

Критически важные технологические этапы получения и переработки молока с позиции Low-Heat

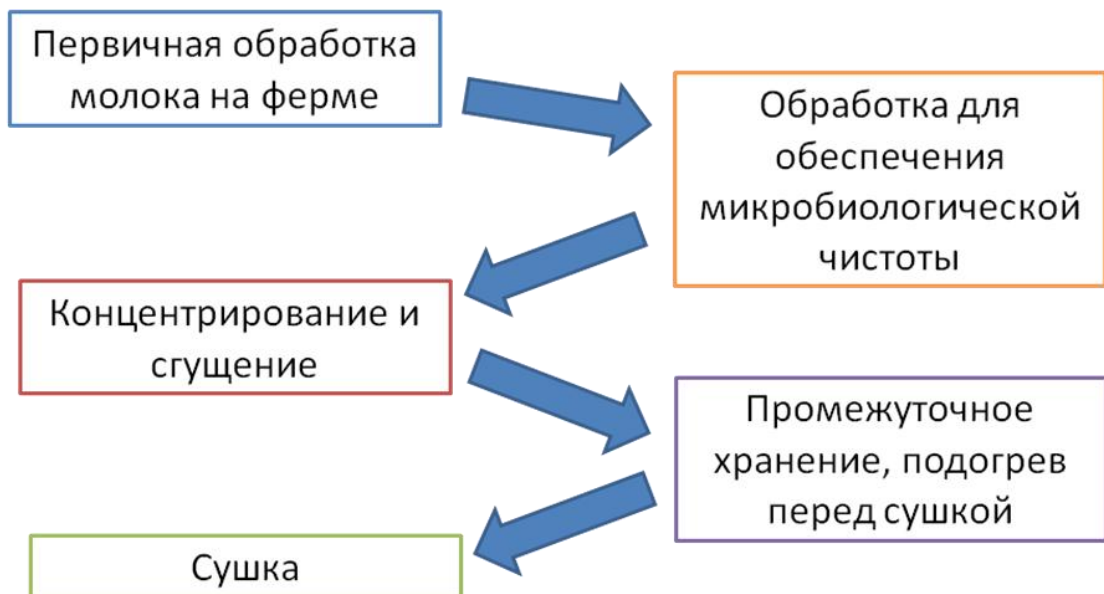


Рисунок 3.1 – Основные этапы производства сухих молочных продуктов

Первичная обработка молока на молочно-товарной ферме – ключевой процесс в производстве молочных продуктов. В ходе исследований выявлено, что важнейшим моментом для обеспечения качества молочной продукции при минимальных тепловых воздействиях на молоко является его первичная обработка на молочно-товарных фермах.

Известно три основных аспекта обеспечения качества молока-сырья:

- 1) здоровье животных;
- 2) соблюдение технологий кормления, содержания, доения и санитарной обработки оборудования и помещений;
- 3) скорость охлаждения молока [223, 224].

Состояние здоровья коров, наряду с бактериальной обсемененностью, определяет и количество соматических клеток. На эти показатели инженерная служба может влиять опосредованно, реализуя мероприятия, направленные на снижение травматизма животных, осуществляя правильный подбор сосковой резины и обеспечивая правильные режимы дойки. В остальном этот вопрос следует рассматривать отдельно как ветеринарный и зоотехнический.

Обеспечение качества мойки является первостепенной задачей инженерной службы. Особое внимание следует уделять правильному подбору циркуляционного насоса; строгому соблюдению режимов мойки, особенно температурного; подбору оптимального моющего средства; сокращению стыков и оптимизации молокопроводов с позиции минимизации застойных и непромываемых зон, в которых развиваются бактерии в период после мойки до дойки, что особенно актуально в летний период [171, 172].

Особое внимание к скорости охлаждения необходимо уделять в связи с введением технического регламента Таможенного союза 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» [165], где этот показатель нормируется.

Кроме соблюдения формальных показателей, скорость охлаждения существенно влияет на показатели качества молока. Так, получив молоко сорта «Экстра», при низкой скорости охлаждения и использовании неправильно

подобранного оборудования вполне реально к моменту забора получить второсортный продукт, а это немалые денежные потери и серьезные проблемы при производстве продуктов на молочном заводе. Даже при исправном емкостном оборудовании для охлаждения молока, его микробиологические показатели резко ухудшаются на порядок – в 5-10 раз, что приводит к снижению сортности на 1-1,5 ступени, а это потери от 300 до 600 тыс. руб. на 1 т продукта. В год потери составят до 440-880 млн. руб. для типовой фермы со средним удоем 4000 л/сут. (таблица 3.1). Такие потери окупают любые разумные меры, направленные на сохранение качества получаемого молока.

Таблица 3.1 – Микробиологические показатели молока по ходу технологического процесса его получения, охлаждения и хранения (по данным В. М. Обуховского)

Место отбора проб (число опытов 23)	Содержание микроорганизмов, тыс./см ³
Вымя коровы	97 ± 32
Доильный аппарат	170 ± 46
Молокопровод	235 ± 37
Танк-охладитель: по окончании дойки через 10 ч	490 ± 53 770 ± 94

В рамках выполнения основного задания ГНТП «Агропромкомплекс – возрождение и развитие села» разработка «Комплекса оборудования для охлаждения молока Я23-ОХА» позволила создать отечественное оборудование данного назначения. Для разработки принята схема двухступенчатого комбинированного охлаждения молока в потоке. На первом этапе продукт охлаждается проточной водой до 14-15 °С за 15-30 с. На втором этапе в качестве хладоносителя выступает ледяная вода с температурой 1,0±0,5 °С.

Накопленный опыт позволяет сформулировать рекомендации по подбору оборудования для охлаждения молока на ферме:

1) разовый надой составляет до 750 дм³ – разумно использовать простейшие недорогие системы с прямым охлаждением;

2) разовый надой составляет до 1500 дм³ – можно использовать системы с прямым или косвенным охлаждением, желательно с предварительным охлаждением;

3) разовый надой составляет до 2500 дм³ – обязательное использование предварительного охлаждения совместно с системами прямого или косвенного охлаждения, можно рассматривать целесообразность установки системы поточного охлаждения;

4) если разовый надой превышает 2500 дм³ – лучшим вариантом является комбинированная система поточного охлаждения с использованием предварительного охлаждения молока водой.

Оценка эффективности нетепловых методов снижения бактериальной обсемененности молока-сырья. Анализ литературных источников показал, что в качестве нетепловых методов снижения бактериальной обсемененности молока могут быть использованы бактофугирование и микрофилтрация.

Бактофугирование чаще всего используется в сыроделии для очистки молока от спор *Clostridium tyrobutyricum*. Для осаждения микроорганизмов необходима более высокая частота вращения, чем в сепараторах-молокоочистителях, центробежное ускорение при этом составляет 7000-9000 g. Бактерии удаляются в виде суспензии, сконцентрированной в обезжиренном молоке. Объем суспензии (бактофугата) составляет от 1 до 4 % обрабатываемого молока. Эффективность бактоотделения выражают в процентах количества бактерий (или спор), удаляемых вместе со шламом в процессе центрифугирования, от первоначального их количества в молоке [217].

Эффективность бактофугирования в отношении микроорганизмов нельзя отделить от тепловой обработки. Зависит этот параметр также и от типа микроорганизмов, поэтому данные по эффективности бактофугирования неодинаковы. В связи с тем, что споры не инактивируются при пастеризации, эффект снижения количества спор после центробежной обработки должен быть обеспечен только за счет бактофугирования. Степень удаления спор зависит от температуры бактофугирования. В диапазоне температур от 60 до 75 °С, из

разных источников, эффективность удаления спор составляет 95,8 до 97 % и достигает 99,7 % при температуре 80 °С [217, 258, 263, 266].

Микрофльтрация представляет собой процесс концентрирования высокомолекулярных соединений и посторонних частиц, а также бактерий, с последующим их удалением, который проходит при пропускании молочного сырья сквозь полупроницаемые мембраны. Для проведения процесса микрофльтрации применяют керамические мембраны с порами 0,2-1,4 мкм. При микрофльтрации цельного молока удаляется одновременно и большая часть жира, при этом мембраны с размером пор 0,2 мкм удаляют 99,9 % жировых частиц, а мембраны с размером пор 1,4 мкм – 90-98 % жира. Содержание бактерий в молоке, профильтрованном через мембраны, снижается на два порядка без заметной задержки протеинов. Микрофльтрация обезжиренного молока протекает при значительно большей скорости по сравнению с аналогичным процессом для цельного молока [262, 292].

Микрофльтрация сыворотки. При микрофльтрации сыворотки удаляются бактерии, фосфолипиды и казеин. Этот процесс позволяет повысить скорость потока при последующей ультрафльтрации и получить сывороточно-протеиновый концентрат более высокого качества.

Для эффективной и бесперебойной работы микрофльтрационных установок требуется молоко высшего качества, поскольку размеры фильтров и чувствительность установки к качеству молока не позволяют обрабатывать молоко с высоким содержанием соматических клеток, повышенной бактериальной обсемененностью или присутствием ингибиторов без риска поломки оборудования.

С целью оценки эффективности нетепловых методов снижения бактериальной обсемененности проведены исследования исходного молока-сырья и молочного сырья после бактофугирования и микрофльтрации (таблица 3.2, 3.3).

Таблица 3.2 – Влияние бактофугирования и микрофльтрации на микробиологические показатели молока и продуктов его переработки (март 2015 г.)

Наименование показателя	Молоко-сырье		КСБ-УФ	
	перед бактофугой	после бактофуги	перед микрофльтрацией	после микрофльтрации
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	$(4,6 \pm 2,4) \cdot 10^5$	$(1,1 \pm 0,7) \cdot 10^5$	$(2,4 \pm 1,8) \cdot 10^4$	$(5,0 \pm 3,7) \cdot 10^2$
Дрожжи, КОЕ/см ³	$(3,3 \pm 2,1) \cdot 10^3$	$(2,0 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(8,5 \pm 4,2) \cdot 10^1$	отс.
Плесени, КОЕ/см ³	$(4,0 \pm 1,8) \cdot 10^1$	отс.	отс.	отс.
Термоспоры, шт./см ³	7±5	4±2	5±2	1±1
Количество спор мезофильных лактатсбраживающих анаэробных бактерий, шт./см ³	6±4	не обн.	не обн.	не обн.
Общее количество спор мезофильных анаэробных бактерий, шт./см ³	6±4	не обн.	не обн.	не обн.
Споры сульфитредуцирующих клостридий, шт./см ³	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.

Таблица 3.3 – Влияние бактофугирования и микрофльтрации на микробиологические показатели молока и продуктов его переработки (апрель 2015 г.)

Наименование показателя	Молоко-сырье		КСБ-УФ	
	перед бактофугой	после бактофуги	перед микрофльтрацией	после микрофльтрации
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	$(8,0 \pm 5,4) \cdot 10^5$	$(1,5 \pm 1,3) \cdot 10^4$	$(2,9 \pm 1,6) \cdot 10^5$	$(5,0 \pm 2,4) \cdot 10^1$
Дрожжи, КОЕ/см ³	$(1,3 \pm 0,4) \cdot 10^5$	$(2,5 \pm 0,9) \cdot 10^3$	$(1,7 \pm 0,4) \cdot 10^4$	не обн.
Плесени, КОЕ/см ³	не обн.	не обн.	$(4,5 \pm 2,2) \cdot 10^2$	не обн.
Термоспоры, шт./см ³	3±2	1±1	1±1	не обн.
Количество спор мезофильных лактатсбраживающих анаэробных бактерий, шт./см ³	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
Споры сульфитредуцирующих клостридий, шт./см ³	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.

Анализ полученных результатов показывает, что процессы микрофльтрации и бактофугирования способствуют снижению содержания в молоке и продуктах его переработки КМАФАнМ, дрожжей, плесеней, а также спор. При проведении процесса микрофльтрации их основная масса переходит в ретентат.

Изучение теплового воздействия на белковую фракцию молока. При производстве сухих продуктов важным является максимальное сохранение нативных форм белка, причем наибольшей термочувствительностью обладает группа сывороточных

белков. В ходе исследований решено проблему изучать при производстве сухого обезжиренного молока.

Первым и наиболее важным моментом является методическая основа определения класса термообработки, которая базируется на определении неденатурированного сывороточного белкового азота (НСБА). Такой подход к определению класса термообработки молока в Республике Беларусь зафиксирован в СТБ ISO 735-2011 (базируется на принципах Американского института сухого молока, 1971). Принципиально, показатель класса термообработки введен в действующий СТБ 1858-2009 «Молоко сухое. Технические условия» который гармонизирован с Codex Stan 207-1999 «Стандарт на сухое молоко и сухие сливки» и ГОСТ Р 52791-2007 «Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия». Но трактовка показателя класса термообработки лишь как «низкотемпературная сушка», «умеренная сушка» выглядит несколько упрощенной. Эти методы не работают на продуктах переработки сыворотки. Показатель «класс термообработки» *интегральный*, он характеризует технологический процесс получения сухих продуктов *в целом*, а не исключительно сушку (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Схема определения класса термообработки и соответствующий кумулятивный эффект термического воздействия

Показатель термообработки	Класс термообработки	Рисунок UMSP, полученный методом электрофореза в полиакриламидном геле (PAG)	UMSPN (мг/г сухого молока)	Кумулятивный эффект соответствия
80,0 или менее	Низкотемпературная термообработка	Все окрашенные зоны четко видны или окрашенная зона иммуноглобулина расплывчатая	$\geq 6,0$	Не более 70 °С, до 2 минут
От 80,1 до 83,0	Умеренная термообработка	Окрашенная зона иммуноглобулина едва видна или отсутствует; зона альбумина сыворотки расплывчатая	От 4,5 до 5,9	70-73 °С, до 5 минут
От 83,1 до 88,0	Умеренно высокотемпературная термообработка	Окрашенная зона альбумина сыворотки слегка видна или отсутствует; окрашенные зоны β -лактоглобулина расплывчатые; окрашенная зона δ -лактоглобулина уменьшена	От 1,5 до 4,4	73-78 °С, до 20 минут
88,1 или более	Высокотемпературная термообработка	Окрашенные зоны β -лактоглобулина слегка видны или отсутствуют; окрашенная зона δ -лактоглобулина слегка видна или отсутствует	$\leq 1,4$	88 °С, до 30 минут

Мониторинг показателей качества, безопасности образцов сухих молочных продуктов (СОМ, СЦМ), производимых в Республике Беларусь, с учетом класса термообработки. Проведен анализ показателей качества и безопасности образцов молока сухого обезжиренного и сухого молока. Проанализировано 8 образцов молока сухого обезжиренного и 7 образцов молока сухого. Как показал анализ данных, только один образец молока имел класс низкотемпературной обработки, один образец молока – класс высокотемпературной обработки, остальные образцы – класс умеренной высокотемпературной обработки. На текущий момент, аппаратное обеспечение технологических процессов производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь позволяет производить продукцию с умеренным термическим воздействием на продукт. Адаптация и внедрение технологий, позволяющих получать молоко низкотемпературной обработки, является важной задачей текущего периода.

Оценка влияния режимов нагрева и выдержки на класс термообработки; оценка влияния режимов сгущения, режимов сушки на класс термообработки. Поскольку показатель класса термообработки основан на определении неденатурированного сывороточного белкового азота, то оценку влияния режимов нагрева и выдержки, режимов сгущения и сушки в значительной степени целесообразно проводить по изменению белковых фракций.

Степень денатурации белков зависит от температуры и продолжительности ее воздействия на молоко. При температуре пастеризации 72-74 °С с выдержкой 15-20 с она составляет 9 %, при 85 °С без выдержки – 22-30 %.

В процессе сгущения и сушки молока увеличиваются молекулярная масса и средний диаметр казеиновых частиц, то есть снижается дисперсность казеина. Заметное увеличение молекулярной массы частиц казеина начинается лишь при сгущении молочной смеси до содержания сухих веществ свыше 25 %. Так, при 30 %-ной концентрации сухих веществ молекулярная масса частиц увеличивается

более чем в 4 раза, а при концентрации 42 % – в 7 раз. По данным Н.С. Панасенкова и др., при повышении концентрации сухих веществ в сгущенном молоке с 27,5 до 59,5 % размер белковых частиц увеличивается с 155,0 до 306,4 нм, в сухом восстановленном – с 184,5 до 328,2 нм, то есть по сравнению с исходным молоком дисперсность частиц после сгущения и сушки в среднем понижается в 2,3 и 2,5 раза. В сгущенном молоке содержатся агрегаты казеиновых мицелл неправильной формы, соединенные в виде цепочек, сухое восстановленное молоко содержит агрегаты разнообразной формы, состоящие из большого количества белковых частиц и их фрагментов.

Во время сгущения молока происходит денатурация сывороточных белков и взаимодействие казеиновых мицелл с солями кальция, приводящее к образованию структурированной (конденсационной) системы. Длительное нагревание вызывает изменение заряда и степени гидратации белковых молекул, а также освобождение на их поверхности активных участков, способных к взаимодействию. Снижению заряда и дегидратации казеиновых мицелл также способствуют понижение рН молока и повышение концентрации солей кальция в процессе сгущения. Так, по данным Ю.А. Заварина и Л.В. Чекулаевой, рН молока понижается с 6,6 до 6,3 и далее до 6,06 в готовом продукте, то есть система приближается к изоэлектрическому состоянию казеина. Как известно, ионы кальция ускоряют агрегирование казеиновых мицелл за счет снижения их заряда и образования межмолекулярных связей. Концентрация ионов кальция во время сгущения молока повышается, но ее увеличение идет значительно медленнее, чем повышение общего количества сухих веществ.

В процессе сушки наблюдается частичное перераспределение фракций казеина, а также денатурация сывороточных белков, снижающая растворимость продукта. Во время сгущения и сушки часть белков и аминокислот вступает во взаимодействие с лактозой, т.е. наблюдается реакция Майяра.

Анализ микробиологического фона производства сыворотки сухой деминерализованной. Основная задача – определение проблемных участков технологической цепочки с целью разработки мероприятий для повышения

микробиальной чистоты конечного продукта, который необходимо было производить с качеством, соответствующим требованиям к продукции для детского питания. Базой для анализа служили данные посевов проб, отобранных на основных технологических участках (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Количество микроорганизмов по этапам технологического процесса, КМАФАнМ, КОЕ/см³

Этап технологического процесса	Данные исходного мониторинга	После модернизации
Исходная сыворотка после вибросита	$(1,05 \pm 0,26) \cdot 10^6$	$(1,47 \pm 0,3)4 \cdot 10^6$
Вход в пастеризатор	$(1,07 \pm 0,23) \cdot 10^6$	$(1,61 \pm 0,49) \cdot 10^6$
Выход из пастеризатора	$(1,28 \pm 1,44) \cdot 10^3$	$(9,20 \pm 8,40) \cdot 10^2$
Резервуар для хранения		
– начало хранения	$(2,13 \pm 0,70) \cdot 10^3$	$(1,09 \pm 0,54) \cdot 10^3$
– завершение хранения	$(2,93 \pm 1,33) \cdot 10^3$	$(1,36 \pm 0,97) \cdot 10^3$
Нанофльтрация, приемный бачек	$(2,84 \pm 6,68) \cdot 10^5$	$(1,64 \pm 2,29) \cdot 10^3$
Резервуар для хранения концентрата	$(1,56 \pm 2,88) \cdot 10^6$	$(7,95 \pm 4,42) \cdot 10^3$
Деминерализация	$(2,57 \pm 3,49) \cdot 10^6$	$(1,13 \pm 2,6) \cdot 10^4$
Сгущение		
Приемный бачек	$(2,60 \pm 3,03) \cdot 10^6$	$(3,47 \pm 2,41) \cdot 10^4$
Продуктовая линия из ВВУ	$(6,53 \pm 9,48) \cdot 10^4$	$(9,82 \pm 4,27) \cdot 10^2$
Кристаллизация		
– начало процесса	$(1,01 \pm 0,38) \cdot 10^4$	$(2,38 \pm 0,94) \cdot 10^3$
– окончание процесса	$(1,78 \pm 2,35) \cdot 10^4$	$(3,74 \pm 0,97) \cdot 10^3$
Сушка		
Виброкипящий слой	$(4,40 \pm 3,80) \cdot 10^4$	$(7,80 \pm 6,78) \cdot 10^3$
Выход из сушилки	$(6,40 \pm 5,70) \cdot 10^4$	$(7,14 \pm 8,02) \cdot 10^3$
Фасовка	$(6,50 \pm 5,81) \cdot 10^4$	$(7,46 \pm 7,58) \cdot 10^3$

Анализ данных позволяет сделать заключение о наличии проблемного участка, связанного с обвязкой нанофльтрационной установки. Это существенный рост обсемененности при передаче на установку нанофльтрации. Принято решение об изменении конструкции обвязки емкостей с сокращением количества соединений и изменением программы работы СІР-мойки. Проведенная модернизация позволила существенно улучшить качество готового продукта по показателю микробиальной чистоты.

3.2 Процесс нанофильтрационного концентрирования сыворотки на мембранных модулях «РМ Нанотех»

Процесс нанофильтрационного концентрирования молочной сыворотки – это базовый процесс ее переработки [52, 70, 71, 75, 81, 94, 124, 134, 159, 161, 178, 189, 192, 250]. При проведении процесса нанофильтрации важным аспектом является зависимость производительности установки от времени работы, температуры и типа сыворотки. Знание указанных параметров позволяет точнее прогнозировать работу установки при смене режимов работы, при переходе с одного продукта на другой, а также при принятии решения о покупке/модернизации оборудования.

Основной целью данной части работы явилось изучение зависимости производительности НФ-установки в процессе работы от таких факторов как концентрация сухих веществ в сырье и продукте, давление процесса, температура обрабатываемой среды, а также изучение физико-химического состава получаемых продуктов. Исследования проводились для наиболее массовых видов сыворотки из всех, поступающих на переработку, – творожной и подсырной.

Используемое оборудование и условия проведения опытов. В работе использовали нанофильтрационные полипиперазинамидные мембранные элементы серии nanoNF 3838-2 в санитарном исполнении с внешним турбулизатором 0,8 мм, рабочей площадью 7,1 м², производства ЗАО «РМ Нанотех» г. Владимир, Российская Федерация (таблица 3.6) [98]. Технические характеристики указанных мембран позволяют их применять в процессах концентрирования всех видов молочной сыворотки.

В первой серии экспериментов *исследовано влияние концентрации сухих веществ сыворотки и продолжительности процесса на скорость фильтрации.* В процессе работы мембраной установки в исходном сырье, концентрате и фильтрате контролировали следующие показатели: температуру, титруемую и активную кислотности, массовые доли сухих веществ.

Таблица 3.6 – Условия работы и технические данные наночистотной мембраны. Данные компании ЗАО «РМ Нанотех»

Показатель	Значение
Рекомендуемое рабочее давление, МПа	0,5-3,0
Максимальное рабочее давление, МПа	4,0
Максимальный перепад давления, МПа	0,1
Рабочая температура, °С *	4-50
рН при работе *	3-10
рН при химической мойке (кратковременная работа)	1-12
Допустимая концентрация перекиси водорода, мг/л: при непрерывной работе	40
при дезинфекции (не более 30 мин)	1000
Допустимая концентрация свободного хлора, мг/л: при непрерывной работе	Не более 1
при дезинфекции (не более 30 мин)	Не более 5
Максимальный входной поток, м ³ /ч	6,8
Соотношение потоков концентрата / фильтрата на каждом элементе	Не менее 5:1

*При непрерывной работе с рН выше 10 температура не должна превышать 35 °С.

Технические характеристики процесса наночистоты (рисунок 3.2):

1) рабочее давление процесса (на входе/выходе в корпус мембранного элемента) 1,8/1,7 МПа, при этом через корпус была обеспечена циркуляция продукта расходом порядка 6 м³/ч, обеспечивая равномерный надмембранный поток жидкости;

2) сырье – сыворотка подсырная, предварительно отфильтрованная от сырной пыли.

С целью изучения поведения мембраны в процессе работы был проведен ряд опытов. Общее время эксперимента составляло 7 ч, из них 5 ч непосредственно работа установки на продукте и 2 ч мойки. Для снижения влияния фактора деградации мембраны, опыты были рандомизированы по порядку. Содержание сухих веществ 6,0% соответствует содержанию сухих веществ в нативной сыворотке. Для остальных опытов продукт предварительно сгущали до содержания сухих веществ в диапазоне 8,0-18,0 %, а затем – 5 ч непрерывной работы. Для обеспечения постоянства состава продукта в ходе процесса, фильтрат возвращался в концентрат (таблица 3.7). Анализ данных

показывает значимые различия в производительности по фильтрату при различном содержании сухих веществ в обрабатываемой среде.

Таблица 3.7 – Производительность установки по фильтрату в зависимости от содержания сухих веществ в концентрате, $\text{дм}^3/\text{мин}$. Давление на входе в мембранный элемент 1,8 МПа

Время работы установки, мин	Содержание сухих веществ в концентрате, %						
	6,0	8,0	10,6	12,0	14,0	16,5	18,0
0	4,20±0,26	2,85±0,24	2,50±0,14	1,76±0,15	1,20±0,23	0,66±0,12	0,57±0,12
30	3,75±0,33	2,85±0,21	2,30±0,18	1,41±0,22	1,07±0,14	0,64±0,16	0,55±0,09
60	3,70±0,32	2,80±0,17	2,30±0,12	1,41±0,21	1,04±0,17	0,62±0,08	0,55±0,14
90	3,62±0,17	2,80±0,22	2,20±0,12	1,30±0,16	1,02±0,14	0,62±0,11	0,54±0,08
120	3,50±0,12	2,80±0,14	2,22±0,09	1,30±0,12	1,01±0,19	0,62±0,13	0,54±0,09
150	3,42±0,12	2,80±0,10	2,06±0,12	1,30±0,08	1,00±0,11	0,61±0,10	0,54±0,06
180	3,41±0,12	2,72±0,09	2,09±0,17	1,30±0,14	0,98±0,13	0,63±0,09	0,54±0,07
210	3,41±0,11	2,72±0,08	2,06±0,09	1,30±0,08	0,97±0,09	0,64±0,07	0,54±0,04
240	3,39±0,11	2,72±0,10	2,03±0,08	1,30±0,12	0,95±0,11	0,64±0,11	0,53±0,08
270	3,39±0,26	2,72±0,17	2,03±0,12	1,26±0,09	0,95±0,07	0,64±0,12	0,53±0,05
300	3,39±0,28	2,72±0,11	1,96±0,08	1,26±0,10	0,95±0,12	0,64±0,09	0,53±0,06

Исходя из полученных данных (таблица 3.7), основной причиной снижения производительности установки по фильтрату является повышение содержания сухих веществ, а также сопутствующая процессу так называемая концентрационная поляризация, т.е. локальное повышение концентрации примесей вблизи рабочей поверхности мембраны. Механические и коллоидные частицы в таких условиях имеют тенденцию к укрупнению и образованию агрегатов, которые могут отлагаться на рабочей поверхности мембраны, частично блокируя ее.

Установлено, что в начале процесса фильтрационная скорость резко падает, это связано с образованием сплошного поляризационного слоя на поверхности. Особенно интенсивное снижение производительности отмечено в первые 30 мин работы, затем, до 60 мин от начала работы установки, производительность снижается существенно медленнее и выходит на стабильный режим работы. В целом можно отметить, что за первый час работы производительность установки снижается до уровня 70-85 % от первоначальной, причем основная часть потерь

производительности приходится на первые 30 мин работы. Затем фильтрационная скорость стабилизируется и до завершения процесса практически не меняется. Резкого падения скорости фильтрования в начале замеров не наблюдалось в случае, когда процесс проходил сразу после предпроцесса, в ходе которого нами достигалась требуемая для опыта концентрация сухих веществ сыворотки, так как поляризационный слой уже сформирован на стадии предварительного сгущения.

На наш взгляд, основное влияние на скорость фильтрования при постоянном давлении имеет **концентрация сухих веществ** в обрабатываемом продукте. Снижение производительности установки при работе с высококонцентрированным продуктом объясняется тем, что наличие высокой концентрации относительно низкомолекулярных растворенных веществ создает дополнительное осмотическое давление. Действие последнего направлено против давления, создаваемого насосом, по сути, диссоциированные низкомолекулярные соли сыворотки создают противодействие. С другой стороны, наиболее мелкие ионы (Na^+ , K^+), которые могли бы вносить основной вклад в создание осмотического давления, активно переходят в фильтрат, и их действие в значительной мере нивелируется.

В ходе исследований показано (см. таблица 3.7, эксперименты № 4, 6, 10), что с увеличением содержания сухих веществ в растворе значительно изменяется производительность установки. Так, при концентрации сухих веществ 6,0 % средняя производительность по фильтрату $Q_{\text{ср}} = 3,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$, при 12,0 % – $Q_{\text{ср}} = 1,3 \text{ дм}^3/\text{мин}$, при 18,0 % – $Q_{\text{ср}} = 0,55 \text{ дм}^3/\text{мин}$, т.е. при изменении концентрации сухих веществ от 6,0 до 18,0 % производительность снижается практически в 6,5 раза.

Для определения *влияния температуры на производительность установки* была поставлена серия опытов, в которых после формирования поляризационного слоя и выхода установки на постоянный режим работы увеличивалась температура обрабатываемого продукта. Опыты проводились в трехкратной повторности. С целью снижения влияния нарастания кислотности в ходе эксперимента, опыт проводили в диапазонах температур 8-26, 28-40, 42-56 °С.

Условия эксперимента: рабочее давление до/после мембраны – 1,8/1,7 МПа, надмембранный поток – 6,0 м³/ч, сухие вещества сыворотки – 6,0 %; фильтрата – 0,1 %; рН=6,3-6,4; титруемая кислотность – 14-16 °Т.

Установлено, что при изменении температуры обрабатываемой среды от 8 до 56 °С производительность по фильтрату увеличивается в 2,5 раза (рисунок 3.2). Причем на указанном участке температур зависимость скорости фильтрации хорошо аппроксимируется (доверительный интервал 95 %, R²=0,987) линейной функцией вида

$$Q = 1,54 + 0,083T, \quad (3.1)$$

где Q – расход фильтрата через мембрану, дм³/мин; T – температура процесса, °С.

Работа установки в диапазоне температур 20-50 °С существенно ограничена требованиями соблюдения микробиологической чистоты обрабатываемого продукта. При температуре выше 55 °С существуют ограничения по стойкости мембран при их эксплуатации при высоких температурах. Кроме того, возникают проблемы иного характера. Мембранный процесс, как правило, выстроен так, что значительная часть продукта долгое время циркулирует в установке. В указанном диапазоне температур мы приближаемся к порогу денатурации сывороточных белков, а так как интенсивность гидродинамических процессов при обработке жидких сред на мембранах высока, существует реальная опасность начала денатурации белков сыворотки и их отложения на поверхности мембраны в виде хлопьев. Все это в комплексе делает оптимальным мембранное концентрирование сыворотки в диапазоне низких, до 15 °С, температур.

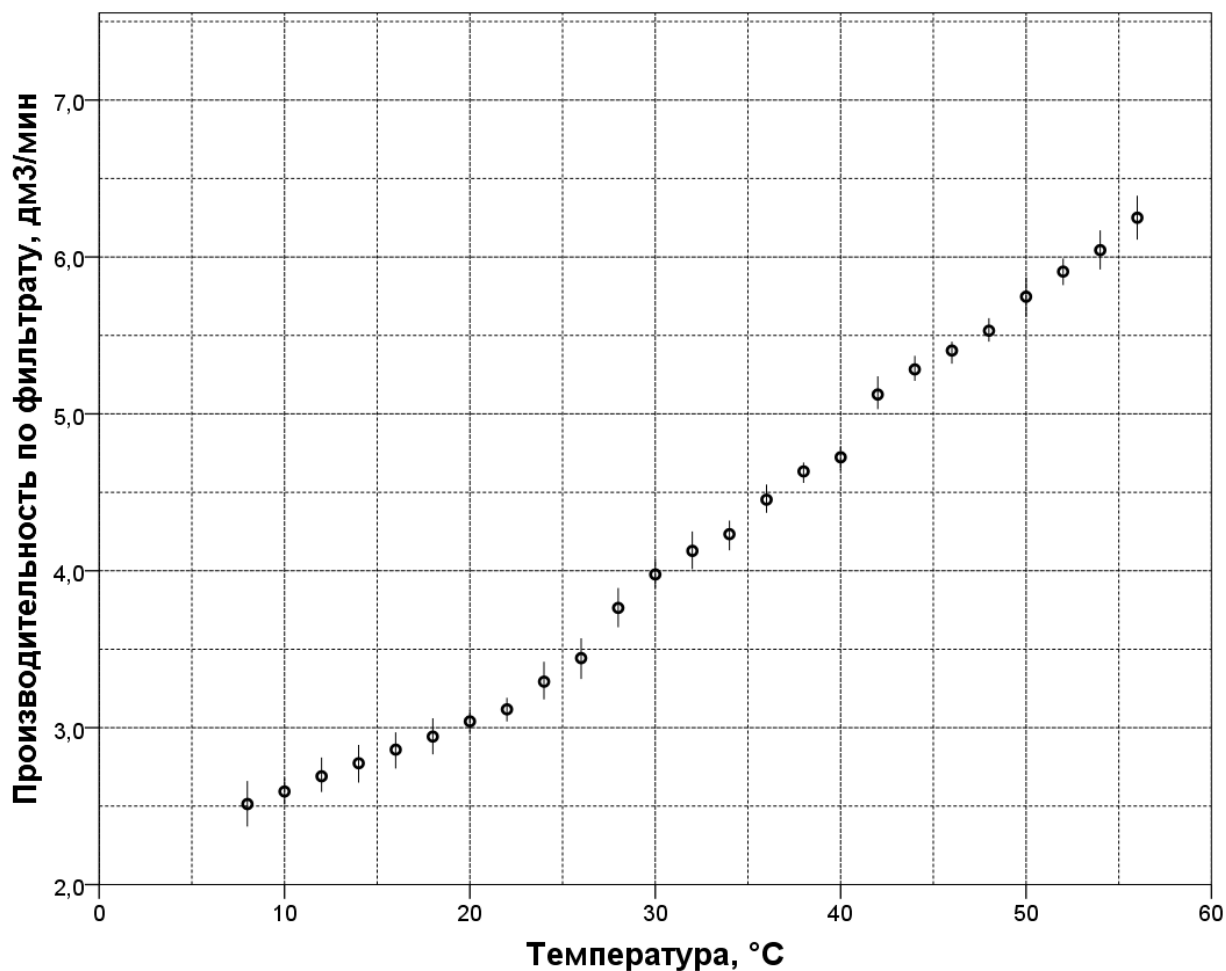


Рисунок 3.2 – Производительность установки по фильтрату в зависимости от температуры

В процессе исследований установлено, что *технологически важным* является *определение предельно достижимой концентрации продукта в зависимости от давления и типа обрабатываемой сыворотки.*

В качестве контроля был проведен опорный эксперимент с целью определения стабильности процесса и состава фильтрата при условии отсутствия предварительного концентрирования. Давление на входе в мембрану – 1,8 МПа, перепад давлений на мембране – 0,1 МПа, фильтрат постоянно возвращался в циркуляционную емкость, время работы установки 4 ч (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Физико-химический состав сыворотки в базовом процессе

Показатель	Исходная сыворотка	Сыворотка в конце процесса	Фильтрат в конце процесса
Массовая доля сухих веществ, %	5,6±0,1	5,4±0,1	0,5±0,14
Массовая доля общего белка, %	0,69±0,05	0,68±0,04	0
Массовая доля небелкового азота, %	0,036±0,002	0,035±0,002	0
Массовая доля золы, %	0,51±0,03	0,48±0,02	0,13±0,01
pH, ед.	6,27±0,16	6,21±0,21	6,54±0,18
Титруемая кислотность, °Т	11±1	12±1	—

При проведении основных исследований нами использована подсырная и творожная сыворотки. Рабочее давление изменяли в пределах 1,0-2,0 МПа, падение давления на элементе поддерживали на уровне 0,1 МПа. В процессе работы контролировали: титруемую и активную кислотности, концентрацию сухих веществ, массовые доли золы, лактозы, небелкового азота, минеральный профиль получаемых продуктов. Под предельным состоянием концентрирования будем понимать такой режим работы установки, при котором скорость отделения фильтрата уменьшается до 0,05 л/мин (что составляет менее 1 % начальной), при этом надмембранный поток поддерживается на постоянном уровне 6 м³/ч.

Для подсырной сыворотки были поставлены две серии экспериментов (таблица 3.9 – № 1, № 2; таблица 3.10), в первой серии сыворотку последовательно сгущали при давлениях 1,0; 1,2; 1,4 МПа, во второй – при давлениях 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 МПа. В третьей серии опытов (таблица 3.9 – № 3; таблица 3.11, 3.12) были проведены исследования для творожной сыворотки.

Таблица 3.9 – Значения предельной концентрации сухих веществ в зависимости от давления процесса

Показатель	Номер эксперимента		
	№1	№2	№3
Вид сырья, сыворотка	подсырная	подсырная	творожная
Температура процесса, °С	28	27	27
Предельное содержание сухих веществ в концентрате, %, при давлении на входе в мембрану:			
1,0 МПа	11,6±0,6	—	11,1±0,5
1,2 МПа	14,0±0,9	—	11,5±0,8
1,4 МПа	16,3±0,7	15,6±0,5	14,0±0,4
1,6 МПа	—	17,5±0,7	17,0±0,7
1,8 МПа	—	20,0±0,4	18,0±0,5
2,0 МПа	—	21,2±0,3	18,8±0,4

В ходе исследований установлено, что решающую роль в достижении заданного показателя сухих веществ на нанофильтрационной мембранной установке играет давление фильтрации, которое не только является движущей силой процесса, но и компенсирует возрастающую роль осмотического давления низкомолекулярных соединений, концентрация которых существенно, до 2 раз, растет в ходе процесса.

Таблица 3.10 – Физико-химические показатели продуктов при концентрировании подсырной сыворотки

Показатель	Исходная сыворотка	Сыворотка концентрат			Фильтрат (средняя проба)	
		содержание	ФК	% перехода	содержание	% перехода
Массовая доля сухих веществ, %	5,91±0,32	21,2±0,3	3,6	97,5	0,5±0,07	6,2
Массовая доля белка, %	0,77±0,08	2,81±0,14	3,6	99,1	0,0	0,0
Массовая доля лактозы, %	4,54±0,24	15,1±0,7	3,3	90,4	0,13±0,05	2,1
Массовая доля золы, %	0,64±0,07	1,43±0,09	2,2	60,7	0,34±0,07	38,7
Массовая доля небелкового азота, %	0,037 ±0,005	0,077 ±0,007	2,1	56,5	не опр.	не опр.
Содержание кальция, мг/дм ³	225±19	691±54	3,1	83,3	22±7	7,2
Содержание магния, мг/дм ³	54±4	196±14	3,6	98,6	3,9±0,5	5,4
Содержание натрия, мг/дм ³	388±29,8	751±63	1,9	58,9	346±29	64,9
Содержание калия, мг/дм ³	1463±127	2714±25	1,9	57,4	1283±131	63,9
pH, ед.	6,44±0,22	6,0±0,18	—	—	6,04±0,15	—
Титруемая кислотность, °Т	17±2	60±3	3,5	95,8	2±1	8,6

Полученные данные показывают, что фактор концентрирования (ФК) по объему достаточно хорошо коррелирует с фактором концентрирования высокомолекулярных веществ. Для веществ, молекулярная масса которых находится ниже уровня концентрирования (для нанофильтрационных мембран на уровне 100 Да), фактор концентрирования зависит во многом от того, находятся эти компоненты в свободном растворе или входят в состав высокомолекулярных веществ. Несмотря на высокую погрешность измерения макроэлементного состава (суммарный процент перехода макроэлементов существенно отличается от 100 %, таблица 3.10, 3.11), можно сделать вывод, что значительная часть ионов натрия и калия находятся в свободном состоянии. Снижение содержания ионов

кальция и магния в сыворотке существенно ниже – на уровне 4-7 %. Это объясняется связью двухвалентных ионов металлов с белковым комплексом сыворотки.

Таблица 3.11 – Физико-химические показатели продуктов при концентрировании творожной сыворотки

Показатель	Исходная сыворотка	Сыворотка концентрат			Фильтрат (средняя проба)	
		содержание	ФК	% перехода	содержание	% перехода
Массовая доля сухих веществ, %	5,52±0,3	18,8±0,4	3,5	94,8	0,48±0,06	5,6
Массовая доля белка, %	0,75±0,04	2,91±0,19	3,8	98,9	0,0	0,0
Массовая доля лактозы, %	4,27±0,37	13,9±1,4	3,3	94,0	0,31±0,05	5,2
Массовая доля золы, %	0,63±0,07	1,71±0,27	2,7	78,4	0,25±0,04	28,2
Массовая доля небелкового азота, %	0,033 ±0,006	0,089 ±0,007	2,7	77,9	0,012 ±0,006	25,9
Массовая доля общего фосфора, %	0,072±0,001	0,13±0,05	1,8	52,2	0,018±0,004	17,8
Содержание кальция, мг/дм ³	784±61	1607±152	2,0	59,1	41±13	3,7
Содержание магния, мг/дм ³	89±54	190±16	2,1	61,2	5,1±0,4	4,0
Содержание натрия, мг/дм ³	462±47	741±67	1,6	46,4	399±42	61,5
Содержание калия, мг/дм ³	1650±176	2980±382	1,8	52,2	1150±134	49,5
pH, ед.	4,34±0,26	4,56±0,29	—	—	4,6±0,24	—
Титруемая кислотность, °Т	53±4	149±12	2,8	82	19±2	21

Снижение зольности (уровень деминерализации) при нанофильтрации в исследуемых образцах составило до 38,7 % для подсырной сыворотки и до 28 % для творожной сыворотки. Наряду с этим установлено существенное, около 21 %, снижение титруемой кислотности творожной сыворотки. Молекулярная масса молочной кислоты составляет 96 Да, что примерно соответствует порогу селективности нанофильтрационных мембран, благодаря чему проход молочной кислоты через мембрану достаточно свободный. Принимая во внимание, что в формировании буферности сыворотки значительную роль играют белки и фосфаты, с учетом фактора концентрирования можно предположить, что при нанофильтрации в фильтрат уходит примерно 30 % молочной кислоты. Этот факт делает нанофильтрацию крайне желательной операцией при переработке творожной сыворотки, так как существенно снижает необходимость внесения реагентов в случае последующего раскисления или значительно снижает нагрузку на электродиализ и/или ионный обмен при переработке сыворотки с использованием деминерализации.

Полученные в ходе исследований химического состава фильтрата молочной сыворотки данные (таблица 3.12) показывают, что при его концентрировании возрастает количество отходящих в фильтрат сухих веществ – от 0,4 % в начале процесса до 1,1 % к его завершению. Если принять во внимание, что в ходе эксперимента рабочее давление и трансмембранный поток оставались постоянными, можно сделать вывод о том, что определяющее значение играет концентрация сухих веществ ретентата.

Таблица 3.12 – Изменение состава фильтрата в ходе концентрирования творожной сыворотки в зависимости от фактора концентрирования по объему

Показатель	Состав фильтрата			Средняя проба
	ФК 1,27 (начало)	ФК 2,7 (середина)	ФК 3,4 (завершение)	
Массовая доля сухих веществ, %	0,4±0,03	0,7±0,05	1,1±0,09	0,52±0,06
Массовая доля лактозы, %	0,18±0,09	0,25±0,09	0,38±0,12	0,26±0,07
Массовая доля золы, %	0,19±0,03	0,41±0,05	0,63±0,05	0,25±0,03
Массовая доля небелкового азота, %	0,012±0,004	0,014±0,005	0,018±0,006	0,012±0,006
Массовая доля общего фосфора, %	0,016±0,002	0,024±0,003	0,037±0,005	0,018±0,003
Содержание, мг/дм ³				
кальция	41,1±2,9	59,3±3,4	80,2±6,4	45,2±3,9
магния	5,07±0,45	5,25±0,31	7,96±0,41	5,38±0,38
натрия	293,5±26,4	550,0±21,6	872,0±39,2	399,0±28,4
калия	954,0±75,9	1767,0±98,7	3415,0±112,0	2150,0±87,4

Таким образом, в ходе исследований установлено, что зависимость производительности нанофильтрационной установки от температуры в диапазоне 20–55 °С описывается линейным уравнением регрессии. Выявлена существенная зависимость скорости фильтрования от концентрации сухих веществ в обрабатываемом продукте. Определены предельные концентрации продукта в зависимости от давления фильтрации, показано, что для творожной сыворотки они на 4-11 % ниже, чем для подсырной. Установлено, что в процессе нанофильтрации степень деминерализации подсырной сыворотки может достигать 35 %, что значительно выше, чем степень деминерализации творожной сыворотки – до 28 %. Это указывает на то, что в творожной сыворотке подвижность микроэлементов значительно снижена за счет образования ковалентных связей, прежде всего с молочной кислотой. Выявлена корреляция между количеством сухих веществ в концентрате и фильтрате.

3.3 Технологические пределы применения ионного обмена

Принципиально работа установок ионного обмена основывается на обратимых химических реакциях, при которых происходит обмен ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором электролита. Иониты – сетчатые полимеры разной степени сшивки, гелевой микро- или макропористой структуры, ковалентно связанных с ионогенными группами. Обменивающиеся ионы называются противоионами. Иониты состоят из неподвижного каркаса – матрицы и функциональных групп – фиксированных ионов, которые жестко прикреплены к матрице и взаимодействуют с противоионами. В зависимости от знака заряда противоионов иониты делят на катиониты и аниониты. Если противоионы заряжены положительно, т.е. являются катионами (например, ионы водорода H^+ или ионы металлов), ионит называют катионитом. Если противоионы заряжены отрицательно, т.е. являются анионами (например, ион гидроксила OH^- или кислотные остатки), ионит называют анионитом [48, 159, 217, 250].

В общем случае процесс ионного обмена можно представить следующим образом (3.2):



Ионообменный сорбент R, содержащий ионогенные группы B^+ , при соприкосновении с ионами A^+ сорбирует их с обменом на ионы B^+ . Реакция обратима, что позволяет регенерировать (восстанавливать) исходную способность ионообменного сорбента.

Главным элементом ионообменной установки является ионообменный сорбент, в качестве которого используются искусственно синтезируемые ионообменные смолы (иониты). Рабочей средой является продукт: молоко, сыворотка, пахта и др. Кроме того, в цикл включаются процессы регенерации и отмывки ионита от остатков рабочей среды и реагентов.

Для практического осуществления ионного обмена в молочной промышленности используются двухкорпусные ионообменные установки: одна – анионообменная, вторая – катионообменная. Как правило, ионообменная установка включает в себя следующие элементы: ионообменные фильтры с обработкой продукта в плотном или псевдооживленном слое ионита; пульсационные колонны или резервуары с механическим или пневматическим перемешиванием для интенсификации ионообменных процессов. В фильтрах с плотным слоем загрузки в нижней части имеется днище с дренажным устройством, позволяющим пропускать только продукт и задерживать твердые частицы ионита. Верхняя часть фильтра снабжена распределительным устройством для подачи и равномерного распределения продукта по всему его сечению. Зернистый ионит загружают в фильтр в набухшем состоянии. Продукт, подаваемый сверху вниз, проходит через слой ионита и дренаж с заданной скоростью до проскока извлекаемых примесей.

При обработке продукта активность ионообменной смолы снижается, процесс останавливается и производится регенерация смолы подачей в колонну специальных регенерирующих растворов, затем процесс обработки продукта возобновляется.

Исследование процесса ионообменной деминерализации молочной сыворотки проводили на лабораторной ионообменной установке для различных видов сыворотки (подсырной, творожной).

Деминерализованная молочная сыворотка имеет ряд преимуществ перед не деминерализованной: менее выражена солоноватость за счет удаления минеральных веществ, понижена кислотность (особенно это важно для кислой творожной сыворотки при ее дальнейшем использовании) и т. д. Это делает возможным применение сыворотки в производстве продуктов для детского питания и других групп пищевых продуктов. Пройдя полный цикл на установке ионного обмена, молочное сырье деминерализуется до уровня 97-99 %, что позволяет значительно улучшить качественные показатели готового продукта.

Технологический процесс деминерализации молочной сыворотки на ионообменной установке включает пропускание ее через ионообменные колонны. Катионит связывает катионы присутствующих в молочной сыворотке минеральных солей, остатки кислот (анионы) связываются анионитом.

На установке ионного обмена проводили ряд испытаний с различными видами сыворотки (подсырной, творожной). В опытах были использованы ионообменные смолы, предоставленные компанией Novasap (Франция).

Подсырная сыворотка. В ходе испытаний изучали предельные достижимые показатели удельной проводимости продуктов и их активной кислотности в зависимости от количества циклов прохождения продукта через ионообменные смолы и последовательность колонн. Последовательность колонн: катионообменная => анионообменная (КА); анионообменная => катионообменная (АК).

Образец №1. Объем продукта – 200 мл; рН 6,48; начальная проводимость продукта – 6,37 мСм/см.

Образец №2. Объем продукта – 200 мл; рН 6,65; начальная проводимость продукта – 6,26 мСм/см.

В результате испытания первого образца, в ходе первого процесса (катионообменная => анионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 6,37 до 0,08 мСм/см, активная кислотность увеличилась от 6,48 до 9,61, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами OH^- . В ходе второго процесса (анионообменная => катионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 6,37 до 0,06 мСм/см, активная кислотность снизилась с 6,48 до 4,39, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами H^+ (таблица 3.13).

В результате испытания второго образца, в ходе первого процесса (катионообменная => анионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 6,26 до 0,11 мСм/см, активная кислотность увеличилась от 6,65 до 7,65, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами OH^- . В ходе второго процесса (анионообменная => катионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 6,26 до 0,01 мСм/см, активная кислотность снизилась с

6,65 до 4,66 ед. рН, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами H^+ .

Таблица 3.13 – Параметры процесса ионного обмена для подсырной сыворотки

Количество проходов	Активная кислотность, рН $\pm 0,12, P=0,95$				Удельная проводимость, мСм/см			
	КА		АК		КА		АК	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Исходное	6,48	6,65	6,48	6,65	6,37 \pm 0,19	6,26 \pm 0,16	6,37 \pm 0,14	6,26 \pm 0,11
1	11,38	8,49	3,22	3,73	1,07 \pm 0,14	1,45 \pm 0,19	0,60 \pm 0,09	0,94 \pm 0,13
2	11,09	8,14	3,10	3,46	0,60 \pm 0,08	1,14 \pm 0,09	0,66 \pm 0,07	0,75 \pm 0,06
3	10,62	7,54	3,24	3,55	0,27 \pm 0,06	0,58 \pm 0,07	0,44 \pm 0,05	0,41 \pm 0,04
4	10,18	7,73	3,46	3,75	0,16 \pm 0,03	0,19 \pm 0,03	0,31 \pm 0,02	0,21 \pm 0,02
5	9,86	7,64	3,62	3,92	0,11 \pm 0,02	0,15 \pm 0,02	0,22 \pm 0,02	0,11 \pm 0,02
6	9,74	7,65	3,81	4,23	0,08 \pm 0,01	0,13 \pm 0,02	0,15 \pm 0,02	0,06 \pm 0,01
7	9,69	7,65	4,11	4,41	0,08 \pm 0,01	0,12 \pm 0,02	0,08 \pm 0,01	0,04 \pm 0,01
8	9,64	7,65	4,35	4,59	0,08 \pm 0,01	0,11 \pm 0,02	0,06 \pm 0,01	0,02 \pm 0,01
9	9,61	7,65	4,39	4,66	0,08 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01	0,06 \pm 0,01	0,01 \pm 0,005

Примечание. КА – первая колонна катионообменная, вторая анионообменная; АК – первая колонна анионообменная, вторая катионообменная.

Творожная сыворотка. Схема опытов аналогична предыдущей.

Образец №1. Объем продукта – 200 мл; рН 4,55; начальная проводимость продукта – 10,10 мСм/см.

Образец № 2. Объем продукта – 200 мл; рН 4,61; начальная проводимость продукта – 9,04 мСм/см.

Для образца №1 в первом процессе (катионообменная => анионообменная колонны) из результатов испытания видно, что удельная проводимость снизилась с 10,10 до 0,10 мСм/см, активная кислотность увеличилась от 4,55 до 8,60, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами OH^- . В ходе второго процесса (анионообменная => катионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 10,10 до 0,09 мСм/см, активная кислотность снизилась с 6,48 до 4,11, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами H^+ (таблица 3.14).

Для образца №2 в первом процессе (катионообменная => анионообменная колонны) из результатов испытания видно, что удельная проводимость снизилась с 9,04 до 0,11 мСм/см, активная кислотность увеличилась с 4,61 до 7,76, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами OH^- . В ходе второго процесса

(анионообменная => катионообменная колонны) удельная проводимость снизилась с 9,04 до 0,07 мСм/см, активная кислотность снизилась с 4,61 до 4,43, так как исследуемый раствор в конце испытания насыщен ионами Н⁺.

Таблица 3.14 – Параметры процесса ионного обмена для творожной сыворотки

Количество проходов	Активная кислотность, ед. рН ±0,16, P=0,95				Удельная проводимость, мСм/см			
	КА		АК		КА		АК	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Исходное	4,55	4,61	4,55	4,61	10,10±0,24	9,04±0,19	10,10±0,14	9,04±0,17
1	10,55	8,95	3,33	3,42	1,34±0,27	1,22±0,34	0,75±0,17	0,66±0,14
2	10,31	8,94	3,13	3,32	0,95±0,14	1,04±0,19	0,82±0,12	0,68±0,12
3	9,67	8,46	3,25	3,33	0,55±0,08	0,54±0,11	0,57±0,09	0,46±0,08
4	9,65	7,86	3,42	3,44	0,38±0,06	0,25±0,08	0,39±0,07	0,34±0,06
5	9,52	7,79	3,53	3,58	0,28±0,04	0,20±0,07	0,32±0,05	0,27±0,03
6	9,41	7,77	3,60	3,64	0,23±0,04	0,18±0,04	0,27±0,04	0,20±0,03
7	9,18	7,76	3,66	3,80	0,17±0,03	0,17±0,03	0,23±0,03	0,15±0,02
8	8,90	7,76	3,81	4,01	0,15±0,02	0,17±0,03	0,20±0,02	0,12±0,01
9	8,70	7,76	3,89	4,21	0,12±0,01	0,12±0,01	0,18±0,02	0,08±0,01
10	8,64	7,76	3,92	4,34	0,11±0,01	0,11±0,01	0,14±0,01	0,07±0,01
11	8,62	7,76	4,07	4,43	0,10±0,01	0,11±0,01	0,09±0,01	0,07±0,01
12	8,60	7,76	4,11	4,43	0,10±0,01	0,11±0,01	0,09±0,01	0,07±0,01

Примечание. КА – первая колонна катионообменная, вторая анионообменная; АК – первая колонна анионообменная, вторая катионообменная.

В ходе исследований установлено, что ионный обмен позволяет снижать минерализацию обрабатываемого продукта, однако отмечен ряд моментов, которые ограничивают его использование в молочной промышленности:

– высокая удельная поверхность ионообменной смолы, в связи с чем особенно важным моментом является проведение качественной санитарной обработки и обязательная дезинфекция;

– рационально применение ионообменных установок в технологических процессах переработки безбелковых продуктов переработки молока, например, пермеата обезжиренного молока или сыворотки, раствора лактозы и т.п.

3.4 Коррекция минерального состава молочной сыворотки методом электродиализа

Перспективным направлением переработки молочной сыворотки является применение технологии электродиализа с целью получения продукта с пониженным содержанием золы, что существенно улучшает органолептические свойства получаемого продукта, расширяя спектр его возможного применения [61, 43, 61, 81, 84, 89, 93, 117, 174, 250, 284, 286]. Актуальным вопросом при производстве сухой деминерализованной сыворотки является задача расширения сырьевой базы за счет использования кислых видов исходной сыворотки – творожной и казеиновой, а также подсырной соленой сыворотки. Решение этой проблемы позволит предприятиям существенно увеличить прибыльность работы за счет роста объема выпуска товарной продукции и коэффициента загрузки оборудования. Дополнительным преимуществом является снижение нагрузки на очистные сооружения.

Электродиализ – это перенос ионов из одного раствора в другой, осуществляемый через мембрану под действием разности электрических потенциалов, прикладываемых к электродам. При электродиализе в электрическом поле постоянного тока движение диссоциированных компонентов солей в водном растворе упорядочивается так, что катионы, движущиеся к катоду, пропускаются катионообменными мембранами и задерживаются анионообменными, тогда как анионы, притягиваемые к аноду, пропускаются анионообменными мембранами и задерживаются на катионообменных (рисунок 3.3). Разделение достигается избирательной селективностью ионообменных мембран для отдельных компонентов в растворе. У обоих электродов циркулирует так называемый электродный раствор (преимущественно раствор индифферентной соли), который обеспечивает электрический контакт путем непрерывного омывания их поверхности и собственно в процессе электродиализа не участвует.

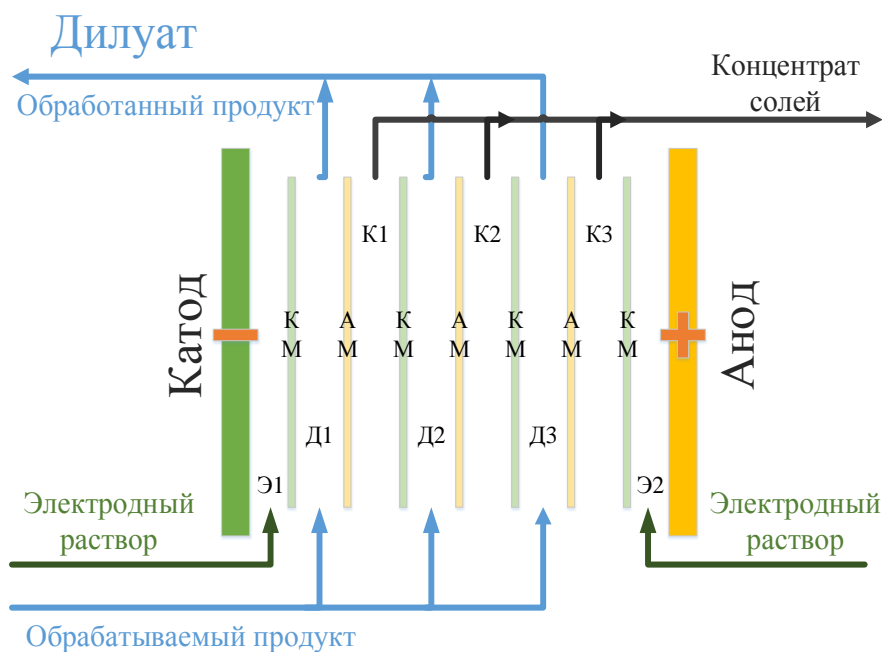


Рисунок 3.3 – Схематическое изображение процесса электродиализа

Электродиализу подвержены только те вещества, которые при растворении диссоциируют на ионы или образуют заряженные комплексы. Недиссоциирующие вещества, например, лактоза, сахароза, молекулы которых при растворении не несут какого-либо заряда, в электродиализном процессе не участвуют.

С целью изучения технологических пределов электродиализа при переработке различных видов молочной сыворотки был проведен ряд экспериментов. В общем случае схема опытов была следующей:

- концентрирование исходного сырья на лабораторной установке наночастиц Я23-ОУН;
- электродиализ концентрированной сыворотки на пилотной установке RALEX P1 2×EDR-Y/50 (MEGA, Чехия).
- сгущение на вакуум-выпарном аппарате Я23-ОВА;
- сушка на сушильной распылительной прямоточной установке Я23-ОСУ.

Электродиализ подсырной сыворотки. Цель данного этапа работы – получение в экспериментальных условиях сыворотки сухой деминерализованной СД-90 из подсырной сыворотки (рисунок 3.4).

Исходное сырье – сыворотка подсырная, концентрированная методом нанофильтрации. Промежуточное сырье – сыворотка, деминерализованная на установке электродиализа; сыворотка, сгущенная методом вакуум-выпарки. Готовый продукт – сыворотка сухая деминерализованная.

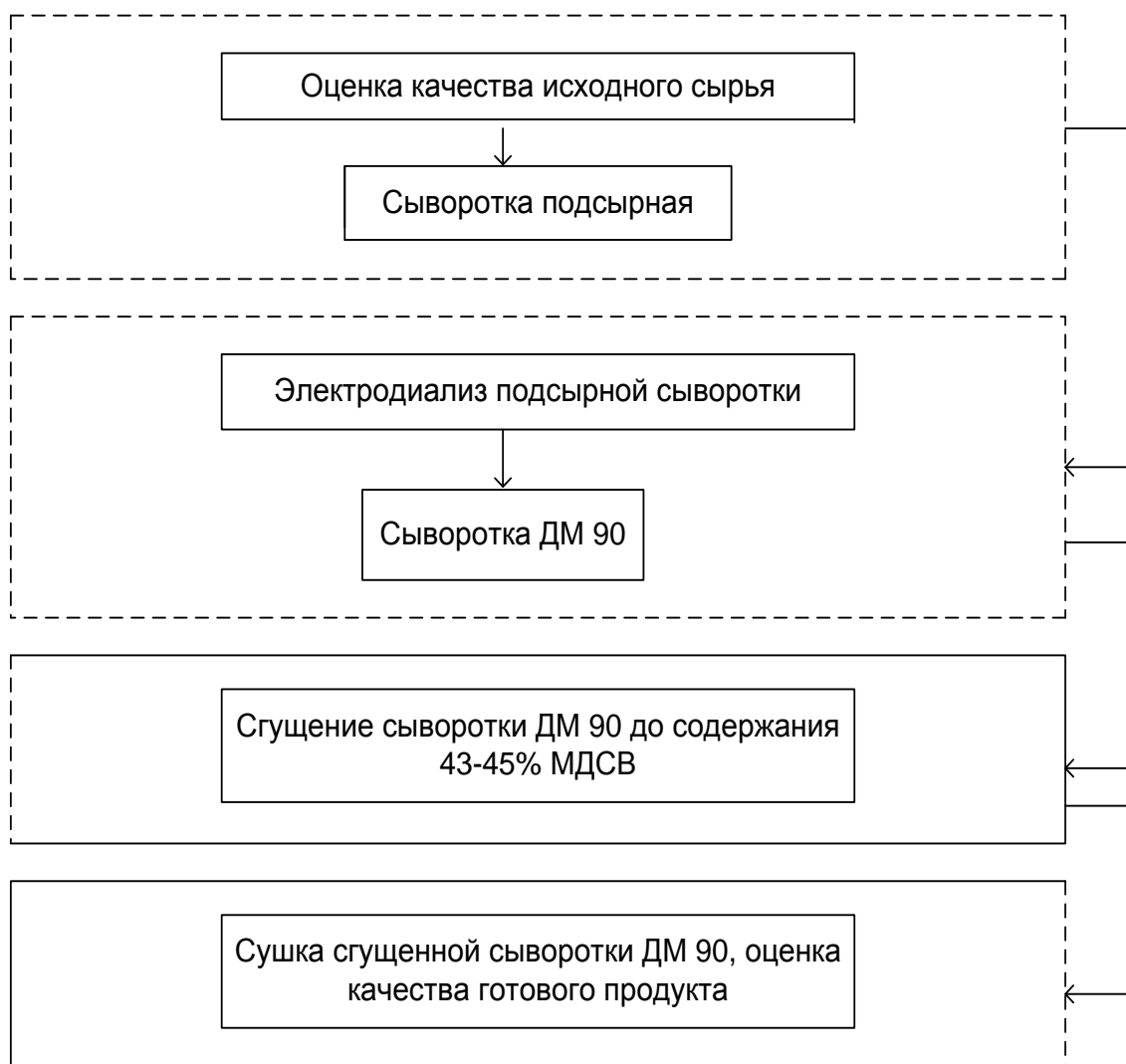


Рисунок 3.4 – Схема производства сыворотки сухой деминерализованной

В ходе исследований проведены две экспериментальные выработки по представленной выше схеме. Основной задачей являлось достижение содержания золы в сухом продукте не более 0,9 %, что гарантированно соответствует степени деминерализации не менее 90 %.

В первой выработке концентрированная нанофильтрацией подсырная сыворотка после учета массы направлялась на электродиализную установку, процесс проводили до достижения удельной проводимости дилуата 1 мСм/см, напряжение 63 В (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Параметры процесса электродиализа

Время, мин	Сила тока, А ±0,14, P=0,95	pH		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,09, P=0,95	К ±0,12, P=0,95	Д ±0,19, P=0,95	К ±0,24, P=0,95
0	2,5	6,31	4,64	6,22	2,70
15	4,7	6,30	4,90	5,49	5,22
30	3,9	6,30	5,43	4,54	7,95
45	3,3	6,30	5,36	3,82	10,1
60	2,9	6,27	5,43	3,18	11,7
75	2,6	6,24	5,26	2,70	13,1
90	2,4	6,20	5,47	2,32	13,8
105	2,2	6,14	5,48	2,13	14,7
120	2,1	6,10	5,43	1,99	13,9
135	1,9	6,02	5,48	1,74	14,3
150	1,8	5,94	5,47	1,55	14,9
165	1,6	5,86	5,44	1,39	14,2
180	1,4	5,77	5,48	1,25	14,4
195	1,3	5,70	5,49	1,13	14,7
210	1,2	5,63	5,43	1,05	14,9
215	1,0	5,48	5,61	1,0	14,9

Примечание. Д – дилуат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

В ходе процесса получена сыворотка подсырная деминерализованная (дилуат) и концентрат солей. Затем деминерализованную сыворотку концентрировали на вакуум-выпарной установке до содержания сухих веществ 46,2 %. Такая степень сгущения объясняется тем, что при большей концентрации может быть спровоцирована спонтанная неуправляемая кристаллизация лактозы. Из полученных данных видно, что продукт имел показатель массовой доли золы в сухом веществе $1,07 \pm 0,12$ %, что несколько выше заявленной цели работы. В этой связи проведена аналогичная по структуре экспериментальная выработка с более глубоким процессом деминерализации – до 0,3 мСм/см, напряжение 63 В. Параметры процесса приведены в таблице 3.16. Физико-химические показатели сырья, промежуточных продуктов и сыворотки деминерализованной сухой приведены в таблице 3.17.

Таблица 3.16 – Параметры процесса электродиализа

Время, мин	Сила тока, А ±0,14, P=0,95	рН		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,08, P=0,95	К ±0,11, P=0,95	Д ±0,12, P=0,95	К ±0,17, P=0,95
0	0,9	6,51	6,97	6,28	0,24
15	1,1	6,48	6,04	6,35	2,29
30	1,5	6,51	5,04	5,98	2,69
45	1,7	6,55	5,26	5,01	3,68
60	1,9	6,57	5,40	3,54	4,66
75	2,3	6,55	5,24	2,59	5,74
90	2,2	6,51	5,45	2,03	6,52
105	1,9	6,37	5,16	1,55	7,74
120	1,4	6,15	5,45	1,13	7,86
135	1,2	5,98	5,43	0,92	8,19
150	1,0	5,80	5,45	0,76	8,44
165	0,8	5,58	5,50	0,67	8,75
180	0,7	5,40	5,49	0,65	9,02
195	0,6	5,20	5,44	0,53	9,23
210	0,5	5,03	5,49	0,43	9,32
215	0,5	4,84	5,49	0,31	9,43

Примечание. Д – дилюат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

Таблица 3.17 – Физико-химические показатели сырья, промежуточных продуктов и сыворотки деминерализованной сухой

Показатель	Концентрированная сыворотка		Концентрат солей	Сухая деминерализованная сыворотка
	исходная	деминерализованная		
Массовая доля сухих веществ, %	17,3±0,1	16,5±0,2	1,80±0,12	97,9±0,2
Массовая доля золы, %	0,93±0,02	0,17±0,01	1,09±0,08	0,53±0,02
Массовая доля лактозы, %	14,0±0,49	14,6±0,38	—	87,2±9,5
Массовая доля общего белка, %	2,2±0,05	2,2±0,04	—	13,1±0,4
Содержание казеина, %	0,13±0,09	0,17±0,02	—	—
Содержание сывороточных белков, %	1,64±0,21	1,69±0,17	—	—
Массовая доля фосфора, мг/кг	99,2±9,7	34±5,2	100,0±16,6	119,0±18,2
Содержание кальция, мг/кг	637±34	187±15	282±21	303±71
Содержание натрия, мг/кг	731±33	160±13	239±24	516±38
Содержание магния, мг/кг	226±21	79±14	99±7	166±14
Содержание калия, мг/кг	2041±197	122±11	367±32	419±38
Титруемая кислотность, °Т	33±1,5	15±1,5	42±2,5	—

В ходе второго процесса была получена деминерализованная подсырная сыворотка (дилюат) со следующими показателями: содержание сухих веществ – 16,5 %, зольность –

0,09±0,008 %, титруемая кислотность – 15 °Т, рН 4,84, и концентрат солей со следующими показателями: содержание сухих веществ – 1,8 %, зольность – 1,09 %, титруемая кислотность – 42 °Т, рН 5,49. Далее проведено сгущение дилуата до содержания сухих веществ 46,5 % (титруемая кислотность 45 °Т) и сушка (таблица 3.17). Получили продукт с содержанием золы – 0,53 %, что соответствует степени деминерализации 94,7 %.

Электродиализ творожной сыворотки. В качестве сырья использована концентрированная нанофильтрацией творожная сыворотка. Отбор проб для определения корреляции между удельной проводимостью и зольностью сыворотки творожной концентрированной проводили в ходе процесса электродиализа при степени деминерализации 50, 70, 90 %, определяемой по удельной электропроводимости: проба №1: 3,19 мС/см – зольность 0,46 % (3,41 % в СВ); проба №2: 2,18 мС/см – зольность 0,27 % (2,00 % в СВ); проба №3: 1,03 мС/см – зольность 0,11 % (0,81 % в СВ). Процесс деминерализации был завершён при достижении удельной электрической проводимости 0,53 мС/см. Общая продолжительность процесса электродиализа составила 28 мин (таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Параметры процесса электродиализа творожной сыворотки

Время, мин	Сила тока, А ±0,26, Р=0,95	рН		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,09, Р=0,95	К ±0,17, Р=0,95	Д ±0,11, Р=0,95	К ±0,22, Р=0,95
0	2,5	4,83	6,25	10,85	0,74
2	4,7	4,37	6,62	9,48	3,96
4	3,9	4,30	6,40	8,32	6,82
6	3,3	4,23	6,29	7,25	7,57
8	2,9	4,15	6,15	6,27	9,38
10	2,6	4,09	6,10	5,77	10,34
12	2,4	3,99	6,01	4,94	11,94
14	2,2	3,88	5,94	4,30	13,49
16	2,1	3,75	5,86	3,32	14,98
18	1,9	3,61	5,85	2,10	14,73
20	1,8	3,54	5,79	1,83	15,90
22	1,6	3,50	5,75	1,42	14,99
24	1,4	3,50	5,67	1,08	15,66
26	1,3	3,54	5,57	0,61	15,32
28	1,2	4,19	5,54	0,53	15,42

Примечание. Д – дилуат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

После процесса электродиализа проведена корректировка уровня удельной электропроводимости (УЭП) до значения 0,9 мС/см (рН 5,19) и затем уровня рН до значения 6,5 путем добавления щелочи (KOH) (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Сводные физико-химические показатели по процессу получения сухой деминерализованной творожной сыворотки

Показатель	Исходная	После НФ	После ЭД	После корректировки УЭП	Сухая сыворотка	
					корректировка по УЭП	корректировка по рН
Массовая доля сухих веществ, %	6,1±0,2	17,3±0,2	13,5±0,3	13,5±0,2	97,9±0,3	97,4±0,02
Массовая доля золы, %	0,72±0,04	1,66±0,06	0,07±0,01	0,08±0,01	0,95±0,09	1,25±0,07
Массовая доля лактозы, %	4,97±0,41	13,3±1,4	13,7±1,2	—	76,2±12,1	—
Массовая доля белка, %	0,79±0,03	2,2±0,05	2,3±0,07	—	13,1±0,3	—
Массовая доля небелкового азота, %	0,042±0,004	0,094±0,006	—	—	0,39±0,06	—
Массовая доля фосфора, %	0,078±0,003	0,217±0,014	—	—	0,191±0,015	0,175±0,009
Содержание кальция, мг/кг	772±64	1647±124	28±3	13±2	363±48	323±37
Содержание натрия, мг/кг	523±41	831±39	26±4	26±3	284±23	331±24
Содержание магния, мг/кг	102±8	261±26	22±2	18±2	137±9	111±13
Содержание калия, мг/кг	1820±140	2756±102	146±6	328±29	2448±278	5030±680
Содержание хлор-иона, мг/дм ³	1500±170	2500±240	—	—	590±64	570±51
Удельная электропроводимость УЭП, мСм/см	8,6±0,3	10,8±0,4	0,53±0,06	0,90±0,12	—	—
Активная кислотность, рН	4,64±0,22	4,83±0,16	4,26±0,18	5,19±0,24	5,06±0,08	6,48±0,12
Титруемая кислотность, °Т	58±4	153±7	25±3	17±2	—	—

Технологический процесс выработки сухой деминерализованной творожной сыворотки был реализован по упрощенной схеме (без сгущения) (рисунок 3.5).

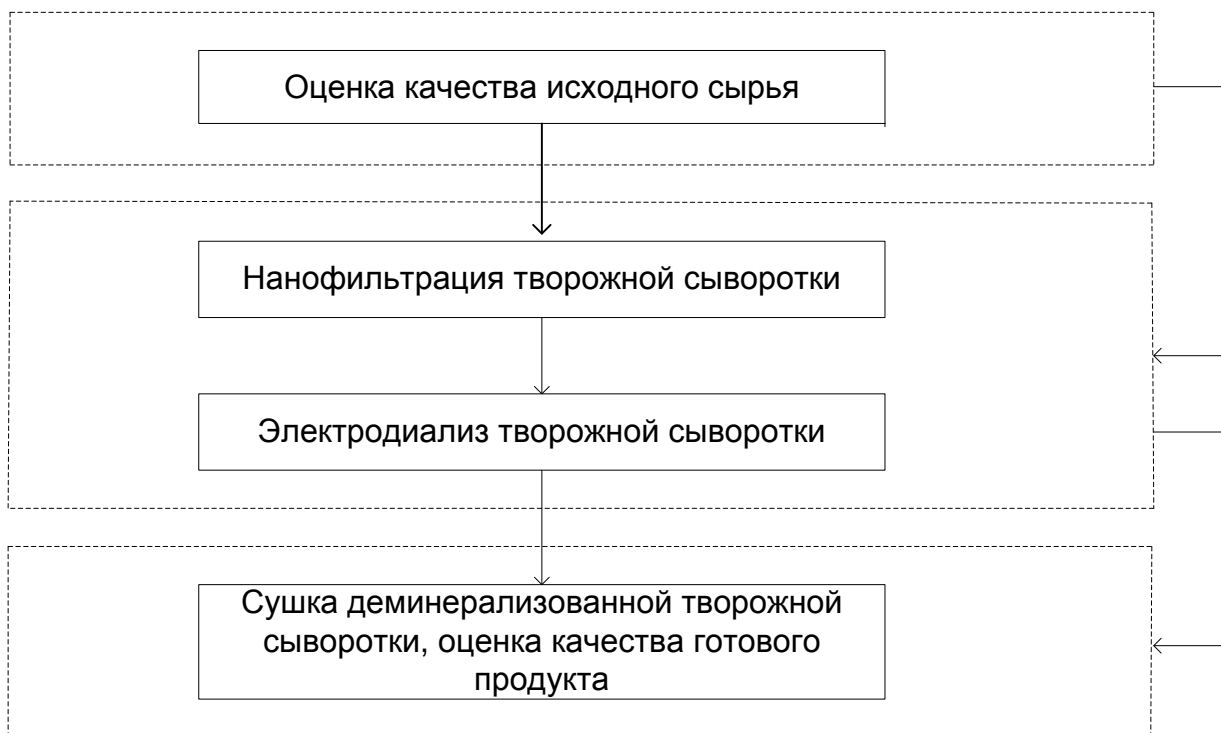


Рисунок 3.5 – Схема выработки сухой деминерализованной творожной сыворотки

В ходе опытов были получены жидкие и сухие образцы деминерализованной творожной сыворотки. После коррекции по уровню рН уровень зольности был выше, чем после коррекции по удельной проводимости. Таким образом установлено, что коррекция кислотности существенно влияет на зольность конечного продукта.

Электродиализ смеси подсырной и творожной сыворотки.

Цель – технологически обосновать возможность совместной переработки смеси творожной и подсырной сывороток (таблица 3.20) с последующей деминерализацией концентрированной смеси до уровня 90 %.

Таблица 3.20 – Физико-химические показатели исходного сырья

Показатель	Сыворотка творожная	Сыворотка подсырная
Массовая доля сухих веществ, %	5,3±0,2	6,2±0,2
Массовая доля белка, %	0,68±0,04	0,91±0,07
Массовая доля золы, %	0,47±0,05	0,59±0,03
Массовая доля жира, %	менее 0,1	0,3±0,05

Пастеризация является необходимой операцией, позволяющей обеспечить микробиологическую безопасность готового продукта, однако, смешивание подсырной и творожной сыворотки неизбежно приводит к понижению рН и снижению термостабильности продукта. В этой связи, на первом этапе исследовали устойчивость к нагреванию смеси сывороток в разных пропорциях 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %. Установлено, что при смешивании исходных творожной и подсырной сывороток выпадения осадка без нагрева не наблюдалось. При проведении тепловой обработки исследуемую смесь сывороток подсырной и творожной нагревали до температуры 76±1 °С, соответствующей температуре пастеризации, и выдерживали до помутнения смеси (таблица 3.21).

Таблица 3.21 – Физико-химические показатели смеси подсырной и творожной сыворотки

№	Сыворотка, соотношение, %		Физико-химические показатели смеси сывороток					
	творожная	подсырная	удельная проводимость мСм/см ±0,21, P=0,95	активная кислотность, ед. рН ±0,07, P=0,95	титруемая кислотность, °Т ±2, P=0,95	СВ, % ±0,3, P=0,95	темпера-тура нагрев, °С ±0,1, P=0,95	стабиль-ность, мин
1	100	—	7,25	4,52	52	5,3	75,5	1–2
2	90	10	7,26	4,57	48	5,4	77,0	1–2
3	80	20	7,24	4,62	46	5,4	77,0	1–2
4	70	30	7,22	4,67	43	5,5	75,5	1–2
5	60	40	7,15	4,75	39	5,7	75,0	1–2
6	50	50	7,04	4,85	36	5,8	76,0	2–3
7	40	60	6,97	4,96	32	5,9	76,5	3–4
8	30	70	6,87	5,12	31	6,0	77,0	3–4
9	20	80	6,78	5,26	29	6,0	77,0	3–5
10	10	90	6,40	5,67	26	6,1	76,0	3–5
11	—	100	6,36	5,82	19	6,2	76,0	3–5

Установлено, что выпадение осадка происходит во всех случаях, однако в образцах с большим процентным содержанием творожной сыворотки (образцы №1-№5) выпадение осадка происходит при меньшей продолжительности выдержки (1-2 мин). В образцах, где преобладает содержание подсырной сыворотки (образцы №7-№8 продолжительность выдержки составляет 3-4 мин, а в образцах с содержанием творожной сыворотки до 20% устойчивость к нагреванию наблюдалась до 5 минут, что делает возможным рекомендовать это соотношение как предельное при совместной переработке.

На следующем этапе исследований был реализован полный цикл выработки сухой деминерализованной сыворотки из смеси сывороток подсырной и творожной (рисунок 3.6).

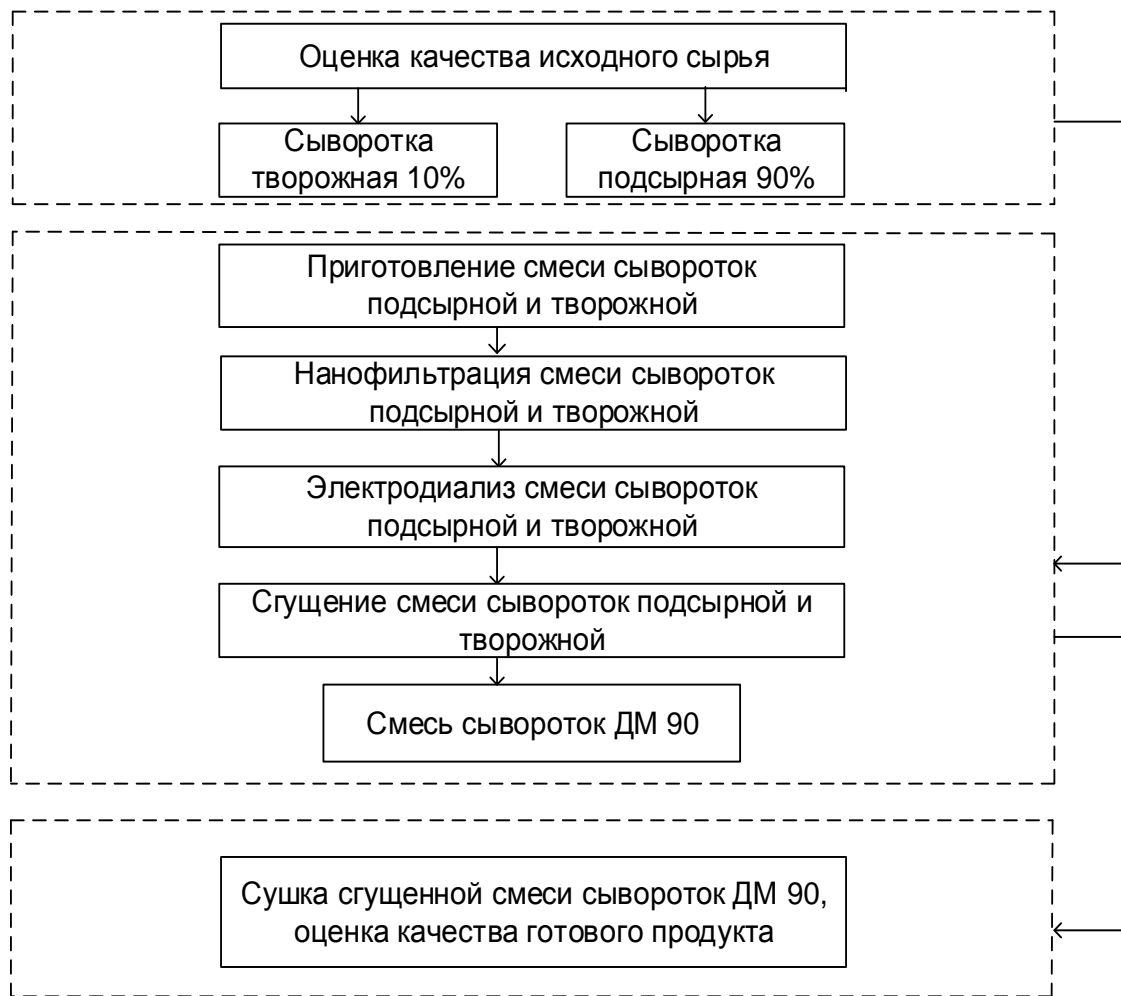


Рисунок 3.6 – Схема выработки смеси сывороток (подсырной и творожной) сухой деминерализованной

Исходное сырье, смесь сывороток подсырной и творожной в соотношении 9:1, сконцентрировано на лабораторной установке нанофильтрации. Полученный концентрат подвергнут деминерализации на установке электродиализа до степени 90 % (таблица 3.22).

Таблица 3.22 – Параметры процесса электродиализа смеси сывороток подсырной и творожной

Время, мин	Сила тока, А ±0,16, P=0,95	рН		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,11, P=0,95	К ±0,15, P=0,95	Д ±0,12, P=0,95	К ±0,41, P=0,95
0	2,0	5,26	5,05	6,88	1,18
15	3,2	5,22	5,05	5,01	6,53
30	2,6	5,13	5,45	2,78	9,61
45	2,1	4,98	5,44	1,85	14,48
60	1,7	4,82	5,16	1,45	12,73
75	1,4	4,63	5,48	1,06	13,39
90	1,1	4,44	5,49	0,71	13,88
105	0,9	4,34	5,48	0,51	14,11
120	0,7	4,43	5,11	0,49	14,13

Примечание. Д – диулат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

Деминерализованный концентрат сгустили на вакуум-выпарной установке до массовой доли сухих веществ 38,0 % и высушили на лабораторной распылительной сушилке (таблица 3.23).

В ходе экспериментов из смеси сыворотки подсырной и творожной при совместной их переработке был получен продукт, отвечающий требованиям, предъявляемым к сыворотке деминерализованной до 90 %. Таким образом, при производственной необходимости возможно использовать совместную переработку для расширения сырьевой базы и/или решения проблемы переработки небольших объемов творожной сыворотки без организации ее отдельной переработки.

Таблица 3.23 – Сводные физико-химические показатели по процессу получения деминерализованной смеси подсырной и творожной сывороток 9:1

Показатель	Подсырная	Творожная	Смесь	Смесь после НФ	Смесь после ЭД (после коррекции рН)	Сухая деминерализованная смесь
Массовая доля сухих веществ, %	5,4±0,1	5,6±0,1	5,5±0,1	18,5±0,3	16,8±0,3	97,9±0,4
Массовая доля золы, %	0,37±0,02	0,56±0,03	0,44±0,03	1,08±0,06	0,15±0,01	0,95±0,03
Массовая доля лактозы, %	—	—	—	—	—	84,9±2,7
Массовая доля белка, %	0,69±0,03	0,67±0,03	0,69±0,03	2,22±0,12	1,78±0,09	12,5±0,4
Массовая доля фосфора, %	0,047 ±0,005	0,071 ±0,006	0,049 ±0,005	0,134 ±0,014	0,038 ±0,002	0,189 ±0,021
Содержание кальция, мг/кг	56±6	110±10	56±6	148±12	48±3	342±30
Содержание натрия, мг/кг	481±51	416±43	38±37	805±74	473±41	4207±346
Содержание магния, мг/кг	31±3	39±4	35±3	86±6	29±3	214±19
Содержание калия, мг/кг	1233±119	1095±121	1068±110	1684±148	29±3	250±24
Титруемая кислотность, °Т	12±1	97±4	23±3	78±5	12±1	—
Активная кислотность, рН	6,31±0,07	4,31±0,13	5,13±0,14	5,20±0,15	6,43±0,15	—

Переработка соленой сыворотки [240]. Основная задача данного этапа исследований – определение возможности совместной переработки подсырной сладкой и соленой сывороток с доведением конечного продукта методом электродиализа до уровня деминерализации 90 % и последующим определением состава минерального профиля жидкого и сухого продукта.

В ходе исследований проведены две экспериментальные выработки:

– сыворотки сухой с уровнем деминерализации 90 % (экспериментальная выработка № 1) с использованием в качестве сырья смеси сывороток подсырной сладкой и соленой;

– сыворотки сухой с уровнем деминерализации 90 % (экспериментальная выработка № 2) с использованием в качестве сырья смеси сывороток подсырной сладкой и соленой с применением диафильтрации в процессе нанофильтрационного концентрирования (рисунок 3.7).

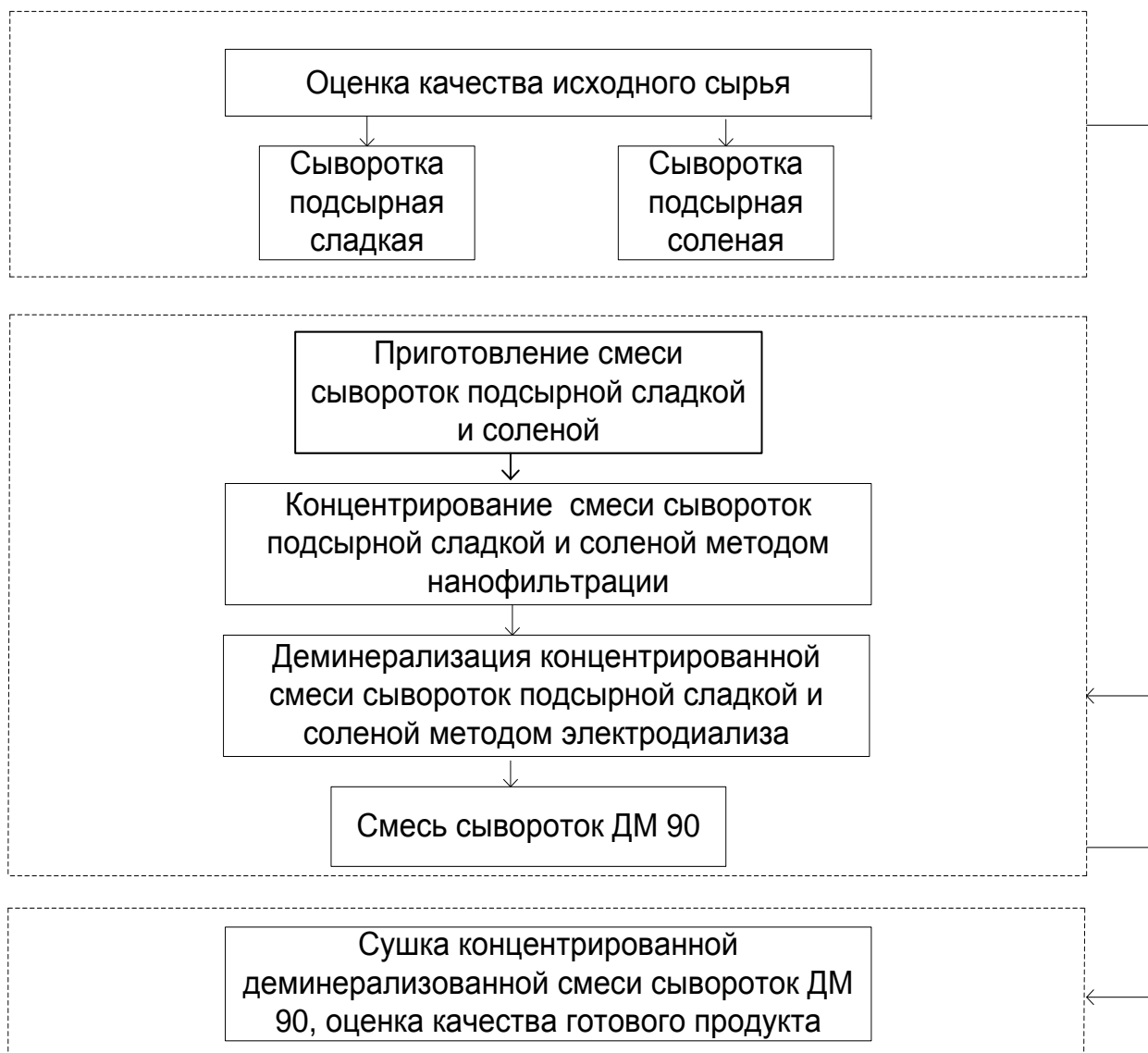


Рисунок 3.7 – Схема изготовления сухой деминерализованной сыворотки из смеси сывороток подсырной сладкой и соленой

Изначально готовили смесь подсырной сладкой и соленой сывороток в соотношении 60:40 по объему, что в пересчете на содержание сухого вещества соответствовало соотношению 57:43. Затем последовательно проводили нанофильтрационное концентрирование и деминерализацию НФ-концентрата с последующей корректировкой уровня рН (таблица 3.24).

Таблица 3.24 – Параметры процесса электродиализа смеси сывороток подсырной сладкой и соленой (экспериментальная выработка № 1)

Время, мин	Сила тока, А ±0,11, P=0,95	рН		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,14, P=0,95	К ±0,12, P=0,95	Д ±0,24, P=0,95	К ±0,45, P=0,95
0	2,2	5,62	5,48	14,43	0,58
15	2,3	5,79	5,24	11,50	5,23
30	2,7	5,88	5,39	9,12	8,98
45	3,6	5,96	5,18	6,42	14,12
60	3,5	5,95	5,30	4,06	16,44
75	2,5	5,71	5,32	2,37	13,68
90	1,7	5,30	5,24	1,35	13,98
105	1,1	4,89	5,33	0,79	14,86
120	0,8	4,52	5,37	0,44	14,34
135	0,7	6,60	5,35	0,79	14,60

Примечание. Д – дилуат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

После окончания процесса электродиализа проводили корректировку рН добавлением в дилуат 50 %-ного раствора NaOH. Сушку осуществляли без промежуточного сгущения на вакуум-выпарном аппарате (таблица 3.25).

Таблица 3.25 – Сводные физико-химические показатели по процессу получения деминерализованной смеси подсырной сладкой и соленой сывороток 6:4

Показатель	Сладкая	Соленая	Смесь	Смесь после НФ	Смесь после ЭД	Смесь после корректировки рН	Сухой продукт
Массовая доля сухих веществ, %	5,9±0,1	6,7±0,2	6,3±0,2	20,0±0,3	17,1±0,4	17,2±0,4	96,7±0,2
Массовая доля золы, %	0,50±0,02	1,93±0,06	1,09±0,05	1,87±0,05	0,18±0,01	0,19±0,01	0,74±0,02
Массовая доля белка, %	0,79±0,02	0,73±0,02	0,77±0,03	2,54±0,08	2,34±0,14	2,36±0,12	13,6±0,4
Массовая доля фосфора, %	0,052±0,005	0,051±0,004	0,056±0,05	0,151±0,011	0,035±0,001	0,039±0,001	0,145±0,009
Содержание: кальция, мг/кг	75±6	111±12	109±9	178±19	18±1	20±2	127±8
натрия, мг/кг	432±34	4680±410	2350±194	5415±497	105±9	404±31	1990±142
магния, мг/кг	48±5	55±4	62±6	172±14	6,2±0,8	1,4±0,4	10,1±0,9
калия, мг/кг	1257±108	1132±98	1420±124	2035±167	35±3	46±4	263±21
Активная кислотность, рН	6,27±0,12	5,87±0,14	6,0±0,13	5,55±0,11	4,52±0,21	5,35±0,1	—

Полученную в процессе нанофильтрации концентрированную смесь сывороток разбавляли водой до содержания 7,4 % сухих веществ, а затем повторно направляли на концентрирование. После этого осуществляли деминерализацию полученного диафильтрационного НФ-концентрата (таблица 3.26).

Таблица 3.26 – Параметры процесса электродиализа диафильтрованной смеси сывороток подсырной сладкой и соленой (экспериментальная выработка № 2)

Время, мин	Сила тока, А ±0,19, P=0,95	pH		УЭП, мСм/см	
		Д ±0,11, P=0,95	К ±0,09, P=0,95	Д ±0,34, P=0,95	К ±0,24, P=0,95
0	2,5	5,21	5,40	7,59	3,29
15	3,9	5,32	5,50	6,81	3,53
30	3,5	5,27	5,34	5,30	5,24
45	2,8	5,10	5,50	3,85	6,61
60	2,2	4,87	5,46	2,87	7,63
75	1,7	4,62	5,48	2,13	8,31
90	1,2	4,34	5,48	1,15	8,80
105	1,0	4,12	5,49	0,74	9,07
120	0,8	4,08	5,31	0,69	9,10
135	0,6	4,12	5,28	0,68	9,12

Примечание. Д – дилуат (сыворотка подсырная концентрированная); К – концентрат солей; УЭП – удельная электропроводимость (параметр, позволяющий контролировать глубину протекания процесса электродиализа).

После окончания процесса электродиализа проводили корректировку pH с добавлением в дилуат 50 %-ного раствора NaOH. Сушку, как и в предыдущем случае, осуществляли без промежуточного сгущения на вакуум-выпарном аппарате (таблица 3.27).

Результаты экспериментов показали, что совместная переработка подсырной сладкой и соленой сывороток с получением продукта, отвечающего требованиям к сухой сыворотке деминерализованной до 90 % технологически возможна. Проведение однократной диафильтрации на этапе нанофильтрационного концентрирования смеси позволяет повысить производительность электродиализной установки примерно на 5-7 %, что не делает диафильтрацию однозначно необходимой в данном технологическом процессе.

Таблица 3.27 – Сводные физико-химические показатели по процессу получения деминерализованной диафильтрованной смеси подсырной сладкой и соленой сывороток 6:4

Показатель	Смесь сывороток после диафильтрации	Смесь сывороток после ЭД	Смесь сывороток после корректировки pH	Сухой продукт
Массовая доля сухих веществ, %	16,7±0,2	15,2±0,3	15,2±0,3	97,1±0,3
Массовая доля золы, %	1,22±0,08	0,13±0,01	0,17±0,01	0,88±0,02
Массовая доля лактозы, %	—	—	—	83,05±1,7
Массовая доля белка, %	2,16±0,08	2,07±0,09	2,08±0,08	13,9±0,2
Массовая доля фосфора, %	0,127±0,011	0,036±0,02	0,034±0,02	0,175±0,012
Содержание кальция, мг/кг	190±16	24±2	18±2	74±5
Содержание натрия, мг/кг	2327±164	71±5	485±31	2646±197
Содержание магния, мг/кг	45±3	18±1	13±1	70±5
Содержание калия, мг/кг	965±69	31±3	38±3	229±20
Титруемая кислотность, °Т	90±4	34±3	10±1	—
Активная кислотность, pH	5,09±0,12	5,17±0,15	6,42±0,1	—

С целью определения солевого состава сыворотки в зависимости от степени обессоливания был проведен эксперимент, в ходе которого отбор проб производился при достижения определенных уровней электропроводимости. Выявлено, что из сыворотки одновременно с одновалентными катионами удаляются анионы фосфатов и цитратов, что приводит к частичной диссоциации комплексов, связывающих ионы кальция и магния. Поэтому значительная часть кальция и магния, входящих в состав сыворотки, переходит в состояние свободных катионов и принимает участие в электродиализном переносе. Следовательно, с повышением степени обессоливания степень удаления из сыворотки катионов щелочноземельных металлов возрастает. Противоположная картина наблюдается в процессе удаления микроэлементов. Известно, что массовая доля таких микроэлементов, как железо, медь, цинк, марганец, в процессе электродиализа меняется незначительно. Это можно объяснить тем, что микроэлементы входят в состав макромолекул протеинов и не диссоциируют в раствор. Проведенные исследования подтверждают данное положение (таблица 3.28).

Таблица 3.28 – Содержание минеральных веществ в подсырной сыворотке при различной степени деминерализации

Показатель	Степень деминерализации, %			
	0	50	70	90
Содержание минеральных веществ, мг/дм ³	7670±98	3730±54	1990±37	790±26
Содержание макроэлементов, мг/дм ³				
фосфатов	880±97	600±51	498±32	160±7
кальция	536±34	509±29	457±31	182±17
магния	100±21	98±16	72±17	57±12
хлора	1640±197	266±33	17±2	следы
натрия	680±34	340±18	154±7	60±3
калия	3150±174	1190±64	753±29	440±18
сульфатов	203±19	107±9	69±4	51±3
цитратов	2330±341	1770±209	956±104	730±87
Содержание микроэлементов, мг/кг:				
меди	0,24±0,06	0,30±0,06	0,33±0,4	0,26±0,05
цинка	1,71±0,29	1,73±0,31	1,72±0,24	1,74±0,26
железа	1,69±0,19	1,91±0,23	2,01±0,28	1,81±0,17
марганца	0,09±0,01	0,10±0,01	0,10±0,01	0,06±0,01
Содержание лактат-ионов, мг/ дм ³	9450±68	5704±44	5401±41	2986±24

При 50%-ном уровне деминерализации из сыворотки удаляется свыше 60 % ионов калия и 50 % ионов натрия, тогда как содержание солей кальция и магния снижается незначительно: на 5 и 2 % соответственно. С увеличением степени деминерализации, в результате удаления большей части одновалентных катионов и возрастания влияние электродиссоциации на образование свободных ионов, заметно возрастает скорость удаления двухвалентных катионов. Из анионов в первую очередь удаляются наиболее подвижные, в частности ионы хлора, следовательно, при деминерализации сыворотки из нее хорошо удаляются анионы неорганических кислот. Содержание лактат-ионов в молочной сыворотке уменьшается по мере увеличения степени ее деминерализации, при этом при 50 %-ном уровне деминерализации из сыворотки удаляется около 40 % молочной кислоты, при 90 %-ной степени деминерализации содержание лактат-ионов снижается практически на 70 % (таблица 3.28).

3.5 Изучение роли белков в образовании поверхностного слоя на мембранах при электродиализе

В ходе работы мембранных установок с поликомпонентными жидкими средами на поверхности мембран откладываются загрязнения, что снижает производительность. В этой связи важным являлось определение качественного состава и количественных характеристик образующейся на поверхности мембран пленки (фоулинг-слоя), которая снижает скорость трансмембранного переноса при обработке творожной сыворотки на электродиализных установках.

Исследования проводили на пилотной электродиализной установке EDR-Y/50 (MEGA (Чехия), мембраны RALEX®). Установка оборудована одним блоком мембран в количестве 50 пар. Напряжение во всех опытах было установлено на уровне 64 В, т.е. 1,2 В на мембранную пару и по 2 В на контактные электроды.

Объектом исследования являлся процесс образования фоулинг-слоя на мембранах, предметом исследования – определение компонентов молочной сыворотки, способствующих этому процессу, и количественные характеристики его проведения и итогов.

Эксперименты были проведены путем постановки двух серий опытов. В первой серии опытов определены характеристики процесса деминерализации нативной творожной сыворотки (таблица 3.29). В качестве критерия окончания процесса было принято достижение уровня удельной проводимости продукта (дилуата) 0,8 мСм/см.

Таблица 3.29 – Исходные и конечные показатели содержания белка в нативной творожной сыворотке (начало процесса/конец процесса)

Обра- зец	Время диализа, мин	Содержание, %			Отложение, г/м ²		
		общий белок	сывороточные белки	казеин	общий белок	сывороточные белки	казеин
1	360±5	0,68±0,02 /0,53±0,06	0,48±0,02 /0,42±0,05	0,20±0,01 /0,11±0,01	120±19	47,9±8	71,9±9
2	435±5	0,75±0,02 /0,6±0,07	0,50±0,02 /0,45±0,04	0,25±0,01 /0,15±0,02	112±18	37,5±6	75,0±11
3	570±7	1,00±0,02 /0,85±0,09	0,75±0,02 /0,7±0,06	0,25±0,01 /0,15±0,01	113±16	37,6±5	75,3±10

Результаты опытов показали, что доля сывороточных белков, участвующих в образовании флуинг-слоя, составляет около 20 % от их первоначального количества, потери казеиновой фракции составили более 50 %. Содержание жира во всех образцах находилось на уровне 0,1 %. В ходе опытов не отмечено потерь жира в определенных количествах, уровень рН продукта снижался с 4,4–4,3 до 3,8–3,6.

Исходя из полученных соотношений можно сделать вывод о том, что содержание казеина в исходном продукте оказывает существенно более выраженное влияние на образование флуинг-слоя. Это можно объяснить тем, что казеин находится в менее стабильном состоянии по сравнению с сывороточными белками. В электрическом поле он легче ионизируется и, отлагаясь на поверхности мембраны, образует слой, препятствующий процессу.

Установлено, что с определенного времени (в нашем случае 120-150 мин) зависимость силы тока от времени для всех образцов практически идентична (рисунок 3.8).

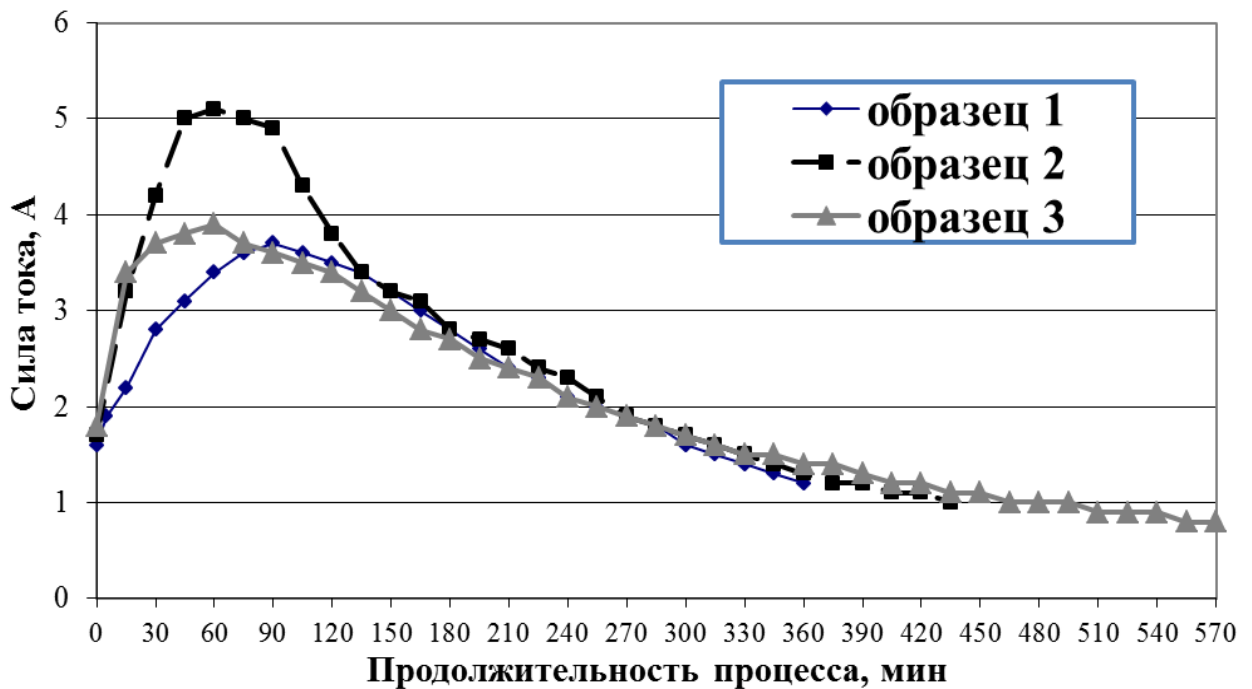


Рисунок 3.8 – Динамика изменения силы тока в ходе процесса для нативной сыворотки

В ходе исследований установлено, что, несмотря на существенную разницу в концентрации лактат-ионов (рисунок 3.9), конечная их концентрация практически находится на одном уровне. Это подтверждает эффективность процесса электродиализа как элемента технологии, позволяющего физическим методом удалить из продукта нежелательный компонент, в рассматриваемом случае – молочную кислоту.

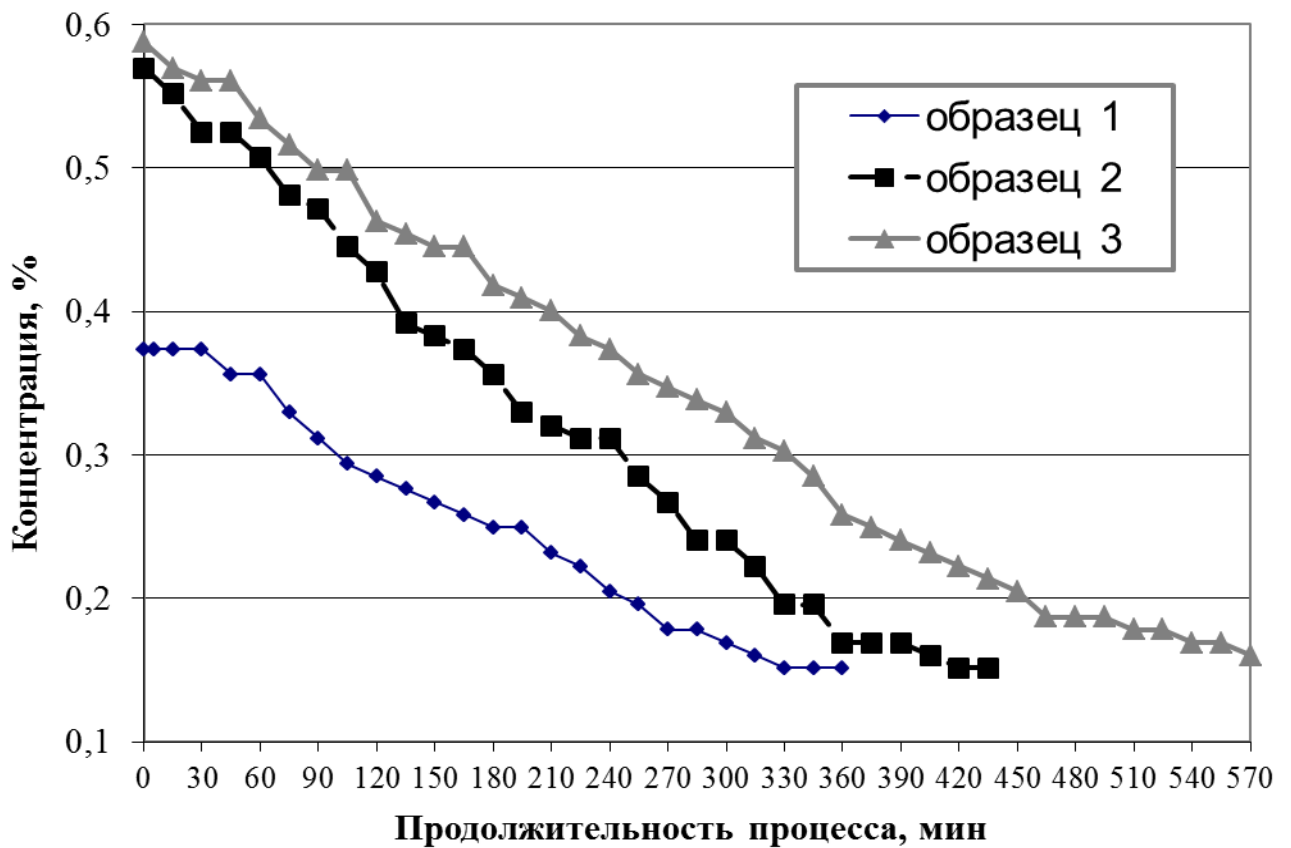


Рисунок 3.9 – Динамика изменения содержания лактат-ионов для нативной сыворотки

Экспериментальные данные описываются следующими экспоненциальными уравнениями регрессии

$$K_1 = e^{0,416-0,003 \cdot t}, \quad (3.3)$$

$$K_2 = e^{0,617-0,003 \cdot t}, \quad (3.4)$$

$$K_3 = e^{0,612-0,002 \cdot t}, \quad (3.5)$$

где K_1 , K_2 , K_3 – соответственно концентрация лактат-ионов для первого, второго и третьего образцов, %; t – время процесса, мин.

Вместе с тем, можно отметить, что на этапе снижения концентрации зависимость близка к линейной, и для практического использования можно принять, что снижение концентрации молочной кислоты пропорционально времени процесса.

Во второй серии опытов были определены отложения на мембранах в ходе процесса деминерализации концентрированной методом нанофильтрации творожной сыворотки (таблица 3.30). Критерием окончания процесса также служило достижение удельной проводимостью продукта значения 0,8 мСм/см. В образце №2 в систему был введен казеин в виде белковой пыли. В образцах №4 и №5 содержание казеина было искусственно увеличено путем добавления обезжиренного молока.

Таблица 3.30 – Исходные и конечные показатели содержания белка в нативной творожной сыворотке (начало процесса/конец процесса)

Образец	Время диализа, мин	Содержание, %			Отложение, кг/м ²		
		общий белок	сывороточные белки	казеин	общий белок	сывороточные белки	казеин
1	230±4	2,47±0,18 /2,05±0,21	1,84±0,11 /1,76±0,24	0,54±0,05 /0,21±0,05	0,105 ±0,012	0,020 ±0,003	0,082 ±0,018
2	235±7	2,51±0,16 /2,40±0,24	1,13±0,09 /1,10±0,15	1,42±0,07 /1,30±0,15	0,0335 ±0,0028	0,007 ±0,002	0,027 ±0,009
3	217±5	1,61±0,12 /1,32±0,19	1,09±0,09 /0,99±0,13	0,60±0,04 /0,31±0,11	0,0639 ±0,0072	0,002 ±0,001	0,062 ±0,016
4	322±6	3,84±0,14 /3,21±0,31	1,64±0,12 /1,56±0,18	2,18±0,12 /1,64±0,24	0,152 ±0,021	0,010 ±0,004	0,142 ±0,051
5	282±7	3,63±0,12 /2,79±0,25	1,23±0,11 /1,04±0,16	2,37±0,14 /1,82±0,29	0,172 ±0,023	0,043 ±0,011	0,129 ±0,042

Общий характер процесса принципиально не меняется. На первой стадии процесса идет образование ионов, повышается проводимость дилюата и концентрата. Эта стадия продолжается 20-25 % от всего времени процесса и характеризуется ростом силы тока, которая однозначно характеризует количество перемещенных зарядов и коррелирует с количеством удаленных из дилюата

ионов. Затем концентрация ионов в дилуате уменьшается, мембраны загрязняются и, соответственно, к завершению процесса скорость процесса плавно снижается в 4,5-5,5 раза по сравнению с максимумом (рисунок 3.10).

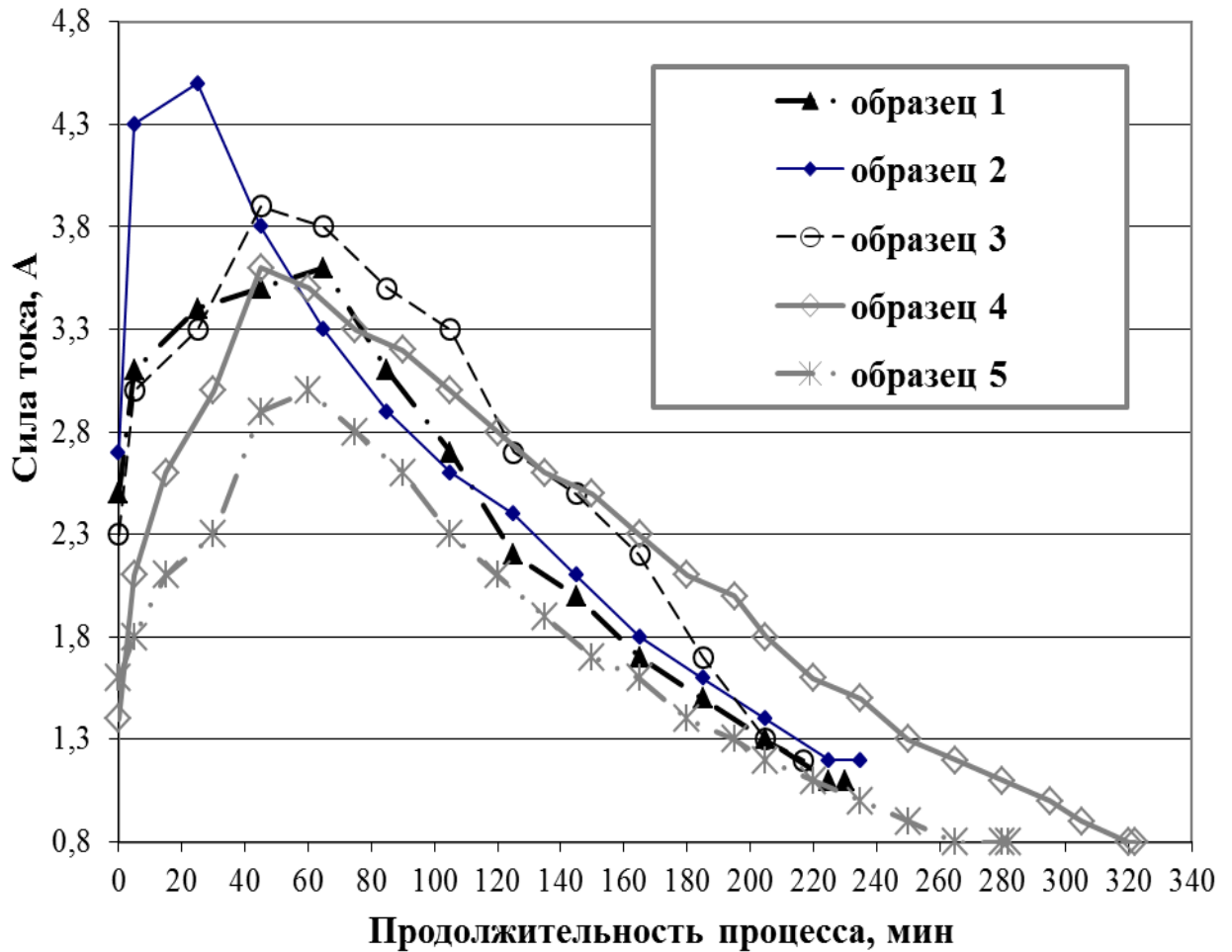


Рисунок 3.10 – Динамика изменения силы тока в ходе процесса для концентрата сыворотки

Характер изменения проводимости для всех образцов одинаков: быстрое снижение в начале процесса с замедлением к окончанию. Если исходить из предположения, что удельная проводимость линейно определяет содержание минеральных веществ в дилуате, то по результатам опытов (рисунок 3.11) можно оценить соотношение затраченного времени на достижение 50%, 70% и 90 %-ной степени деминерализации для концентрата творожной сыворотки. Принимая для первой ступени деминерализации уровень проводимости 4,0 мСм/см, для второй –

2,0 мСм/см, для последней – итоговый уровень 0,8 мСм/см, соотношение приблизительно соответствует следующей пропорции 1 : (1,8-1,9) : (2,7-3,0).

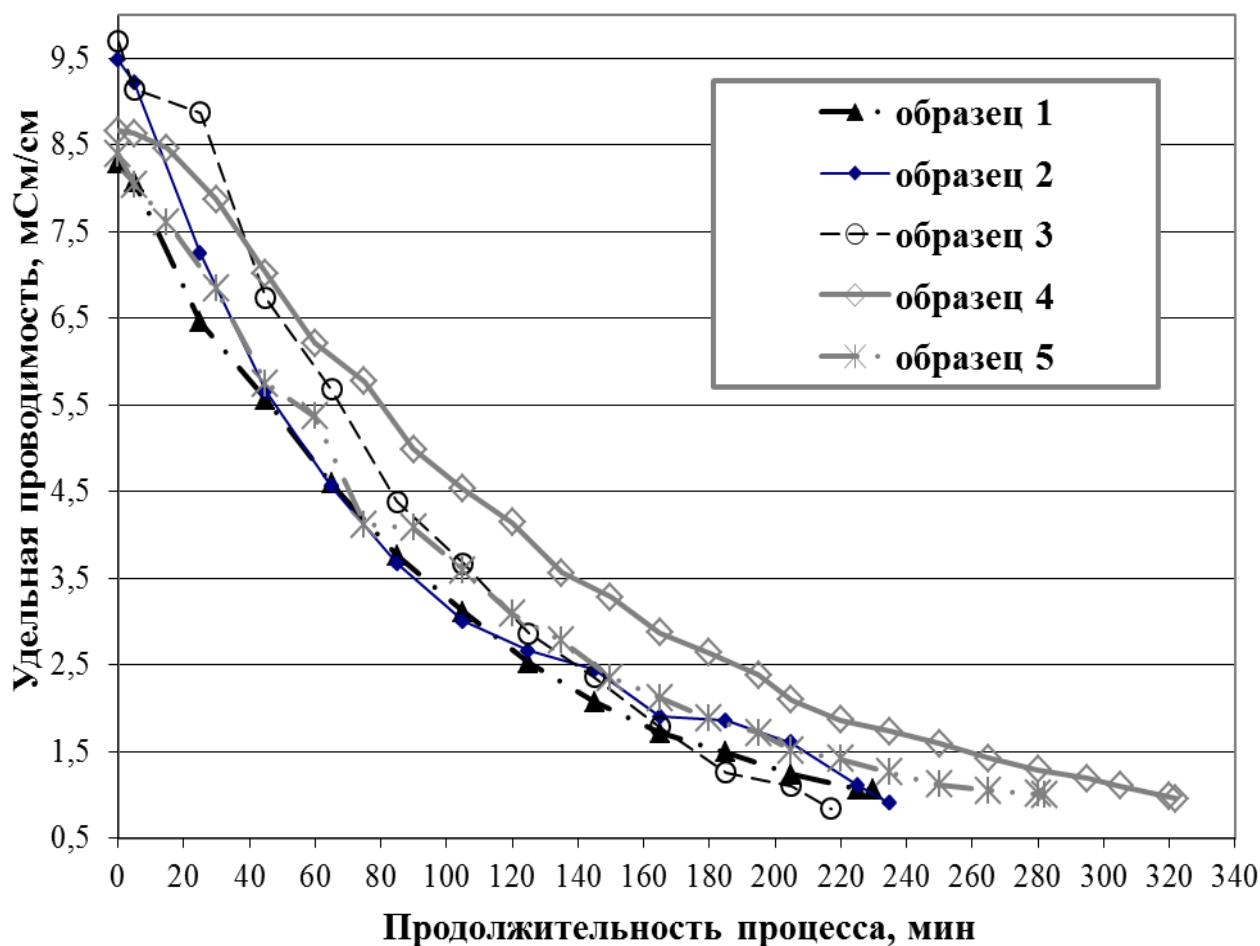


Рисунок 3.11 – Динамика изменения проводимости в ходе процесса для концентрата сыворотки

$$J_1 = e^{8,68-0,012t}, \quad (3.6)$$

$$J_2 = e^{8,05-0,013t}, \quad (3.7)$$

$$J_3 = e^{10,2-0,014t}, \quad (3.8)$$

$$J_4 = e^{9,31-0,007t}, \quad (3.9)$$

$$J_5 = e^{8,53-0,008t}, \quad (3.10)$$

где J_1, J_2, \dots, J_5 – проводимость соответственно для первого, второго, ..., пятого образцов, мСм/см; t – время процесса, мин.

В ходе данной серии экспериментов подтвердился также экспоненциальный характер зависимости изменения концентрации лактат-ионов от продолжительности процесса, и то, что итоговое их содержание по завершении процесса практически одинаково. Исключение составили образцы с добавлением обезжиренного молока, вычисленный уровень лактат-ионов у которых несколько выше (рисунок 3.12). Если исходить из того, что метод определения концентрации лактат-ионов титрованием при низких концентрациях нуждается в поправке, то при 90%-ном уровне деминерализации творожной сыворотки практическое содержание молочной кислоты в продукте находится на нулевом уровне.

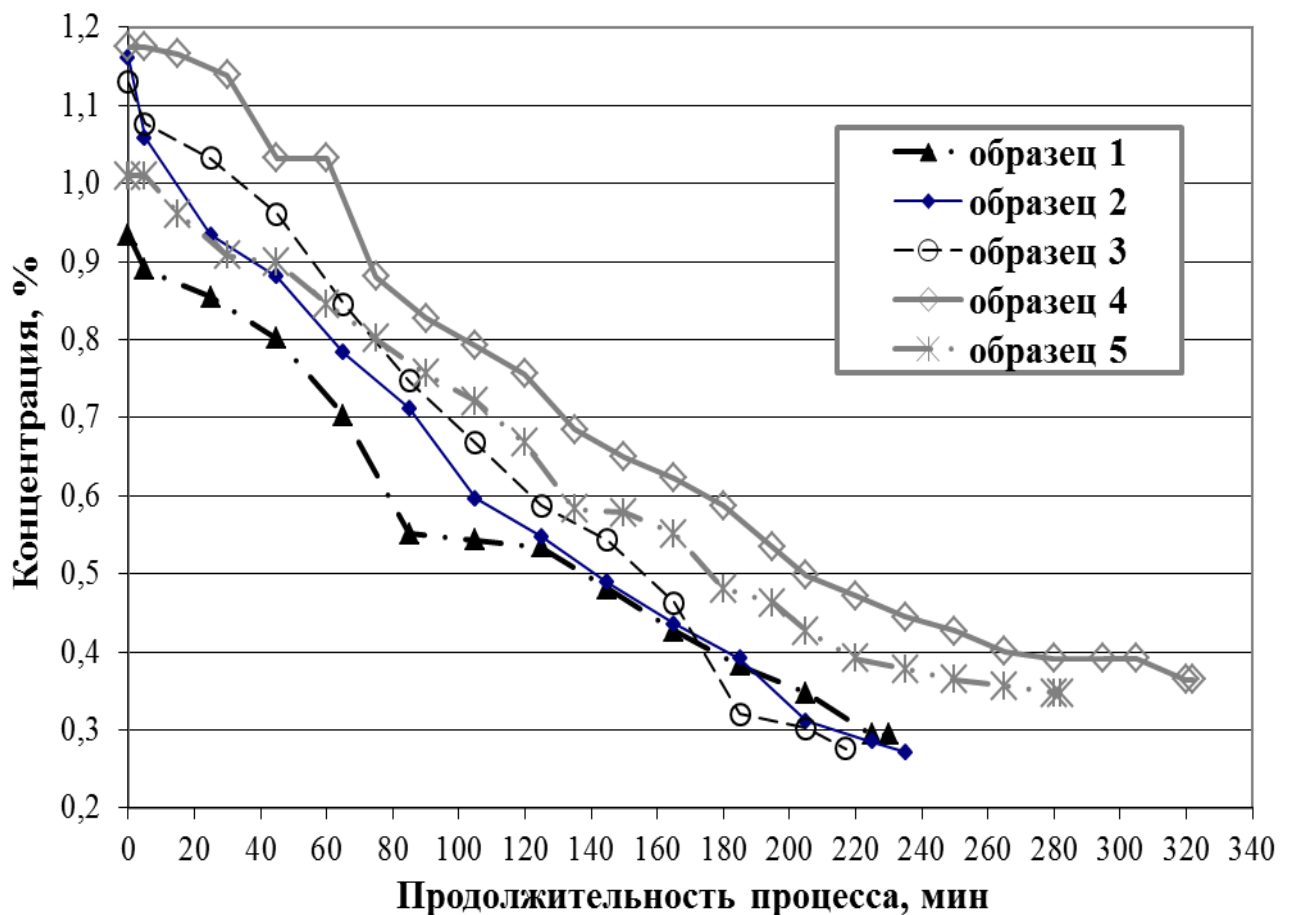


Рисунок 3.12 – Динамика изменения содержания лактат-ионов для концентрата сыворотки

Целесообразно за ноль шкалы концентрации молочной кислоты принять «условный нулевой уровень» 0,3 %, таким образом, при 50%-ной деминерализации удаляется примерно 60 % молочной кислоты, оставшейся в концентрате после нанофильтрации (или около 80 % от исходного уровня), при 70%-ной – около 80 % (или около 95 % от исходного уровня). При уровне деминерализации 90 % молочной кислоты в продукте практически не остается, и он соответствует показателям, характерным для подсырной сыворотки с соответствующим уровнем деминерализации.

Экспериментальные данные описываются следующими экспоненциальными уравнениями регрессии

$$K_{1K} = e^{1,12-0,008t}, \quad (3.11)$$

$$K_{2K} = e^{0,93-0,007t}, \quad (3.12)$$

$$K_{3K} = e^{1,20-0,009t}, \quad (3.13)$$

$$K_{4K} = e^{1,23-0,004t}, \quad (3.14)$$

$$K_{5K} = e^{1,05-0,004t}, \quad (3.15)$$

где K_{1K} , K_{2K} , ..., K_{5K} – соответственно концентрация лактат-ионов для первого, второго, ... и пятого образцов, %; t – время процесса, мин.

В ходе экспериментов установлено, что белки, содержащиеся в сыворотке, в ходе ее обработки на электродиализной установке отлагаются на поверхностях мембран в количестве 0,0335-0,120 кг/м². Наиболее активно отлагается казеиновая фракция. В составе отложений казеины составляют до 80 %, причем в исходной сыворотке их содержание составляет порядка 20-30 % от общего количества белка. Особенно склонность к отложениям казеинов в установке проявилась при обработке смеси творожной сыворотки с обезжиренным молоком – отложение осадка составило 0,130-0,140 кг/м². Столь высоким потерям казеина, вероятно,

способствует высокая способность к образованию казеинами ионов при уровне рН ниже их изоэлектрической точки.

Анализ кинематики процесса показал, что содержание жира в продукте в количестве 0,1-0,3 % напрямую не оказывает воздействия на производительность установки. Участие жировой фазы в формировании флуидизационного слоя использованными в работе методами не обнаружено.

Выявлено, что характер зависимости содержания лактат-ионов в продукте от времени обработки хорошо описывается линейными уравнениями регрессии. Это создает предпосылки для точного регулирования данного показателя в конечном продукте путем задания программы работы установки.

Установлено, что для творожной сыворотки достижение уровня деминерализации 90 % позволяет получить итоговый продукт, аналогичный подсырной сыворотке по содержанию молочной кислоты, тем самым позволив существенно расширить сферу использования кислой творожной молочной сыворотки как сырья для производства сгущенных и сухих молочных продуктов.

3.6 Направления использования концентрата солей после электродиализа

Перспективным путем использования концентратов солей, получаемых при электродиализе молочной сыворотки [239], видится их использование в составе микроудобрений, которые будут направлены для полива травостоев лугов и пастбищ с целью увеличения их кормовой продуктивности.

Нами изучен химический состав концентрата солей с целью его использования в качестве микроудобрения в растениеводстве. В исследованиях использована электродиализная установка EDR-Y/50 с ионообменными мембранами RALEX[®] (MEGA, Чехия). В качестве концентратного раствора выступала водопроводная вода, электролитного раствора – раствор буферной соли сульфата натрия. Установлено, что при деминерализации подсырной сыворотки в дилуате снижается титруемая кислотность, удельная электропроводность, плотность, массовая доля сухих веществ и золы. В концентрате солей данные показатели, соответственно, увеличиваются с увеличением степени деминерализации (таблица 3.31, 3.32).

Таблица 3.31 – Физико-химические свойства исходной нанофильтрованной подсырной сыворотки ($C_{\text{нф}}$), содержание сухих веществ 18 %, дилуата (Д) и концентрата солей (К), полученных в результате ее электродиализной обработки

Показатель	Подсырная сыворотка после нанофильтрации								
	ДМ 50			ДМ 70			ДМ 90		
	$C_{\text{нф}}$	Д	К	$C_{\text{нф}}$	Д	К	$C_{\text{нф}}$	Д	К
Титруемая кислотность, °Т	33 ±4	20 ±2	15 ±3	36 ±4	18,5 ±2	18 ±3	36 ±4	7 ±2	25 ±4
Удельная электропроводность, мСм/см	6,00 ±0,35	3,35 ±0,21	7,30 ±0,54	5,95 ±0,29	2,20 ±0,14	9,10 ±1,04	6,19 ±0,32	0,91 ±0,15	14,2 ±1,9
Плотность, кг/м ³	1071 ±2	1060 ±4	1005 ±3	1071 ±2	1060 ±4	1004 ±3	1071 ±2	1058 ±4	1008 ±3
Массовая доля, %: сухих веществ	18,5 ±0,7	16,7 ±0,8	0,19 ±0,01	18,5 ±0,6	16,4 ±0,7	0,24 ±0,02	18,0 ±0,7	16,1 ±0,6	0,27 ±0,03
золы	1,15 ±0,08	0,64 ±0,05	0,17 ±0,02	1,15 ±0,09	0,32 ±0,03	0,17 ±0,02	1,12 ±0,07	0,08 ±0,01	0,18 ±0,02

Таблица 3.32 – Минеральный состав исходной подсырной сыворотки (С), содержание сухих веществ 5,9 %, дилуата (Д) и концентрата солей (К), полученных в результате ее электродиализной обработки

Показатель	Подсырная сыворотка, ДМ 90		
	С	Д	К
Содержание золы, мг/дм ³	4385±643	162±32	3930±521
Содержание, мг/дм ³ :			
фосфатов	906,0±75,1	94,0±9,3	656,0±59,4
кальция	360,5±29,6	16,2±1,4	320,5±34,5
магния	80,7±5,4	8,5±0,7	87,5±6,8
хлоридов	1083,0±124,3	21,4±1,8	801,0±76,6
натрия	346,0±24,8	6,7±7,2	220,0±20,2
калия	1112,0±94,8	18,9±1,6	1012,0±94,6
Содержание, мг/дм ³ :			
нитритов	следы	следы	3,15±0,26
нитратов	2,7±0,5	3,1±0,6	1050,0±257,0
БПК, мг·О ₂ /дм ³	—	—	545±53
ХПК, мг·О ₂ /дм ³	—	—	1045±121

Наличие в концентрате нитритов и высокое содержание нитратов объясняется особенностями проведения конкретного процесса электродиализа на установках. При этом в концентрат для поддержания необходимого уровня pH дозируется азотная кислота, наличие которой и увеличивает показатели массовой доли нитратов и нитритов, что в принципе не является критичным для минерального удобрения.

Состав концентрата солей, получаемого после электродиализа творожной сыворотки. В творожной сыворотке изначально выше содержание кальция и фосфатов, поэтому и содержание кальция в концентрате солей творожной сыворотки выше. Массовая доля натрия в концентрате солей творожной сыворотки несколько выше, чем в концентрате солей подсырной сыворотки, за счет добавления в дилуат большего количества гидроксида натрия в ходе коррекции pH (таблица 3.33, 3.34). Наличие в концентрате нитритов и высокое содержание нитратов объяснено выше. Высокие значения ХПК и БПК связаны с переходом в концентрат органических лактат-ионов, которые активно поглощают кислород.

Таблица 3.33 – Физико-химические свойства исходной нанофильтрованной творожной сыворотки ($C_{\text{нф}}$), содержание сухих веществ 18 %, дилуата (Д) и концентрата солей (К), полученных в результате ее электродиализной обработки

Показатель	Творожная сыворотка после нанофильтрации,								
	ДМ 50			ДМ 70			ДМ 90		
	$C_{\text{нф}}$	Д	К	$C_{\text{нф}}$	Д	К	$C_{\text{нф}}$	Д	К
Титруемая кислотность, °Т	139 ±7	33 ±4	66 ±9	142 ±7	18 ±3	97 ±16	144 ±6	10 ±2	199 ±20
Удельная электропроводность, мСм/см	9,73 ±0,51	3,02 ±0,41	12,6 ±0,68	9,47 ±0,48	2,47 ±0,34	17,7 ±3,41	9,58 ±0,37	1,02 ±0,21	28,5 ±4,1
Плотность, кг/м ³	1079 ±3	1066 ±3	1047 ±4	1082 ±3	1061 ±4	1046 ±4	1081 ±3	1058 ±4	1045 ±5
Массовая доля, %: сухих веществ	19,8 ±0,3	17,7 ±0,4	2,1 ±0,3	19,5 ±0,3	16,6 ±0,4	3,4 ±0,5	19,7 ±0,3	14,3 ±0,3	5,2 ±0,8
зола	1,89 ±0,11	0,83 ±0,09	1,13 ±0,19	1,85 ±0,13	0,34 ±0,08	1,72 ±0,28	1,87 ±0,12	0,13 ±0,03	2,4 ±0,44

Таблица 3.34 – Минеральный состав исходной творожной сыворотки (С), содержание сухих веществ 5,7 %, дилуата (Д) и концентрата солей (К), полученных в результате ее электродиализной обработки

Показатель	Творожная сыворотка ДМ 90 %		
	С	Д	К
Содержание зола, мг/дм ³	6650±674	389±36,4	5285±594
Содержание макроэлементов, мг/дм ³ : фосфатов	1750,0±168	156,0±17,5	1250,0±141,0
кальция	1242,0±104,1	86,1±8,9	721,0±85,4
магния	126,0±11,2	18,2±2,3	107,0±12,6
хлоридов	1119,0±97,4	20,5±2,8	806,0±104,0
натрия	417,0±34,9	27,7±3,2	309,0±41,2
калия	1421,0±125,7	48,5±6,1	1429,0±164,6
Содержание, мг/дм ³ : нитритов	Следы	Следы	1,66±0,4
нитратов	6,05±1,1	6,70±0,8	397,5±48,4
БПК, мг·О ₂ /дм ³	–	–	4040±67,6
ХПК, мг·О ₂ /дм ³	–	–	5790±76,5

Содержание кальция и фосфатов в концентрате солей творожной сыворотки выше на 56 и 48 % соответственно, чем в концентрате солей подсырной сыворотки, что связано с составом исходных сывороток. Массовая доля натрия, калия, магния в концентрате солей творожной сыворотки

превышает аналогичные показатели в концентрате солей подсырной сыворотки на 29, 29 и 18 % соответственно.

Исследование эффективности использования концентрата солей после электродиализа в качестве микроудобрения. Исследования проводили на базе РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» при непосредственном участии сотрудников НАВ ОДО «Сейбит». Разработку микроудобрения на основе концентрата солей после электродиализа проводили с учетом наличия компонентов в концентрате. Дополнительно в состав разрабатываемого удобрения были включены микроэлементы ***цинк, бор, молибден, медь и марганец.***

Биологические испытания микроудобрения (приготовленного на основе концентрата солей, полученного после электродиализа молочной сыворотки) проводили на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве, подстилаемой с глубины 50-70 см песком. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса – 2,06; фосфора (P_2O_5) – 232 и калия (K_2O) – 254 мг/кг почвы.

Результаты влияния обработки многолетних трав (бобово-злаковая травосмесь для пастбищного использования и многолетняя злаковая травосмесь сенокосного использования) во время вегетации препаратом микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на рост и развитие растений, урожайность зеленой массы травостоев (таблица 3.35-3.37).

Обработка травостоев 3-го укоса (цикл стравливания) препаратом микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на различных бобовых и бобово-злаковых травостоях оказало положительное влияние на формирование урожайности зеленой массы. В среднем по всем вариантам опыта прибавка урожайности зеленой массы составила 1,80 кг/дел., или 14,4 ц/га. Во всех вариантах опыта, кроме вариантов 2 и 4, прибавка урожайности была существенная (таблица 3.35).

Таблица 3.35 – Влияние препарата микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на урожайность зеленой массы пастбищных травостоев на 20.07.12 г., 3-й укос

Состав травосмеси	Урожайность зеленой массы по делянкам, кг/дел. (12,5 м ²)		Прибавка урожайности	
	контроль	опыт	кг/дел.	%
Волат + Чародей (клевер ползучий)	26,50	28,15	1,65	6,23
Волат + Чародей + Пуня + ВИК-90	21,30	21,30	0,00	0,00
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт	21,60	23,19	1,59	7,36
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90	22,20	22,40	0,20	0,90
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница луг.	23,70	26,10	2,40	10,13
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + тимopheевка луг.	21,30	23,95	2,65	12,44
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница трост.	19,60	22,35	2,75	14,03
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница луг. + овсяница трост.	14,90	18,10	3,20	21,48
Среднее по вариантам	21,39	23,19	1,80	8,42
НСР _{0,95}	1,55			

Травостой 4-го укоса формировался в жаркую и сухую погоду (+35 °С). Обработка травостоев 4-го укоса (цикл стравливания) препаратом микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на различных бобовых и бобово-злаковых травостоях оказало положительное влияние на формирование урожайности зеленой массы. В среднем по всем вариантам опыта наблюдалась достоверная прибавка урожайности зеленой массы – 1,52 кг/дел., или 12,1 ц/га. Превышение по урожайности в варианте с двумя сортами клевера ползучего незначительное (таблица 3.36).

Исследование действия препарата микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на формирование последующих травостоев выявило положительное влияние на повышение урожайности зеленой массы. Достоверная прибавка была получена в трех вариантах и составила 0,48 кг/дел., или 3,84 ц/га, в остальных вариантах прибавка незначительная (таблица 3.37).

Таблица 3.36 – Влияние препарата микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на урожайность зеленой массы пастбищных травостоев на 11.08.12 г., 4-й укос

Состав травосмеси	Урожайность зеленой массы по делянкам, кг/дел. (12,5 м ²)		Прибавка урожайности	
	контроль	опыт	кг/дел	%
Волат + Чародей (клевер ползучий)	18,1	19,35	1,25	6,91
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт	14,0	15,65	1,65	11,79
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90	22,1	23,80	1,70	7,69
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + тимофеевка луг.	24,1	25,50	1,40	5,81
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница трост.	23,3	24,65	1,35	5,79
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница луг. + овсяница трост.	23,6	25,35	1,75	7,42
Среднее по вариантам	20,87	22,38	1,52	7,28
НСР _{0,95}	1,36			

Таблица 3.37 – Влияние препарата микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на урожайность зеленой массы пастбищных травостоев на 11.09.12 г., 5-й укос (последействие)

Состав травосмеси	Урожайность зеленой массы по делянкам, кг/дел. (12,5 м ²)		Прибавка урожайности	
	контроль	опыт	кг/дел.	%
Волат + Чародей (клевер ползучий)	17,4	18,95	1,55	8,91
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт	18,3	18,45	0,15	0,82
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90	18,7	19,84	1,14	6,10
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + тимофеевка луг.	17,9	18,25	0,35	1,96
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница трост.	17,3	17,30	0	0,00
Волат + Чародей + Пашавы + Дуэт + Пуня + ВИК-90 + овсяница луг. + овсяница трост.	18,0	17,70	- 0,3	-
Средне по вариантам	17,93	18,42	0,48	2,68
НСР _{0,95}	1,0			

3.7 Технологические аспекты кристаллизации лактозы при производстве сухих продуктов на базе молочной сыворотки

В Республике Беларусь при производстве сухих продуктов на базе молочной сыворотки активно используется такая технологическая операция, как кристаллизация лактозы, позволяющая снизить гигроскопичность конечного продукта. Суть процесса заключается в присоединении молекулой молочного сахара молекулы воды с образованием гидрата. Следствием является потеря гигроскопичности, а молекула лактозы «тяжелеет» на 5 %. Степень кристаллизации контролируется при помощи рефрактометра по «снижению» содержания сухих веществ в сгущенном продукте во время кристаллизации и выражается в процентах. Технологически заметна уже степень кристаллизации 25-30 %, достаточным уровнем можно считать 65-75 %. С использованием кристаллизации получают и иные высоколактозные сухие продукты переработки молока: фильтраты (пермеаты) – после ультрафильтрации молока или сыворотки, меласса и др. Вместе с тем, выгоды от применения процесса кристаллизации лактозы при производстве молочной сыворотки были не очевидны, а технологические режимы были недостаточно проработаны. Тем более, что в циркуляционных вакуум-выпарных аппаратах при определённых режимах работы во втором корпусе наблюдалась спонтанная кристаллизация, приводящая к нарушениям работы оборудования [28, 53, 74, 195, 222, 238, 252].

Внедрение технологии с применением кристаллизации позволяет достичь существенного повышения экономичности проведения процесса [64]. Это обусловлено сгущением сыворотки вплоть до 72 % сухих веществ (обычно 52-62 %) против 44-48 % по традиционной технологии без кристаллизации. Дополнительная нагрузка на вакуум-выпарные аппараты при этом составляет не более 3-5 %, но достигается более чем 1,5-кратное снижение нагрузки на сушилку. Кроме того, растёт КПД сушилки и её реальная производительность по испаренной влаге. Эти факторы обуславливают резкий рост общей производительности линии по переработке сыворотки. Если учесть, что при

сушке для удаления 1 кг влаги расходуется примерно в 6-10 раз больше теплоты, чем при сгущении, то понятен энергосберегающий потенциал такой технологии (таблица 3.38). Еще большего эффекта можно достичь заменой существующих двухступенчатых вакуум выпарных аппаратов циркуляционного типа на многоступенчатые пленочные с механической или комбинированной рекомпрессией соковых паров.

Таблица 3.38 – Сравнительный анализ альтернативных технологий сушки молочной сыворотки. Расчет приведен для переработки 100 т нативной сыворотки

Сушка аморфной сыворотки		Сушка кристаллизованной сыворотки	
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Вакуум выпарной аппарат – сыворотка 58 % сухих веществ, т	13,3	Вакуум выпарной аппарат – сыворотка 58 % сухих веществ, т	10,3
количество испаренной влаги, т	86,7	количество испаренной влаги, т	89,6
время работы, ч	21,7	время работы, ч	22,4
электроэнергия, кВт·ч	456	электроэнергия, кВт·ч	479
пар, т	47,7	пар, т	49,3
тепловая энергия, Гкал	25,8	тепловая энергия, Гкал	26,6
Сушка – сыворотка 97% сухих веществ, т	6,19	Сушка – сыворотка 97 % сухих веществ, т	6,19
количество испаренной влаги, т	7,14	количество испаренной влаги, т	4,16
время работы, ч	20,4	время работы, ч	8,3
электроэнергия, кВт·ч	1836	электроэнергия, кВт·ч	747
пар, кг	21,4	пар, кг	12,5
тепловая энергия, Гкал	11,6	тепловая энергия, Гкал	6,7
<i>Итого:</i>			
электроэнергия, кВт·ч	2292,0	электроэнергия, кВт·ч	1226,0
тыс. руб.	463,0	тыс. руб.	248,0
тепловая энергия, Гкал	37,4	тепловая энергия, Гкал	33,3
тыс. руб.	2244,0	тыс. руб.	2000,0
Итого стоимость энергии, руб.	2708,0	Итого стоимость энергии, руб.	2248,0
Экономия – 460,0 тыс. руб.			

*Стоимость на момент проведения расчетов 1 Гкал – 60 000 руб., стоимость 1 кВт·ч – 202 руб.

Для проведения кристаллизации сгущенная сыворотка предварительно охлаждается в потоке до температуры 26-32 °С и подается в кристаллизатор-доохладитель, куда вносится затравка мелкокристаллического рафинированного молочного сахара и производится медленное доохлаждение до 12-18 °С. В

принципе, можно осуществлять кристаллизацию в резервуарах для кисломолочных продуктов или в ваннах для созревания сливок, дооборудованных усиленными мешалками.

В ходе изучения особенностей работы циркуляционных вакуум-выпарных аппаратов на ряде предприятий был организован процесс кристаллизации в потоке, что позволило на время закупки кристаллизаторов частично использовать преимущества описываемой технологии. При сгущении на двухкорпусном вакуум-выпарном аппарате циркуляционного типа во втором корпусе создаются условия для начала кристаллизации. При температуре 45-50 °С во втором корпусе аппарата при достижении концентрации сухих веществ 37-40 % создаются условия пересыщения раствора по содержанию лактозы. Продолжая сгущение до содержания сухих веществ 52 %, коэффициент пересыщения достигает 1,30-1,35, что приводит к спонтанной кристаллизации, нарушающей нормальное течение процесса сгущения.

Суть нашего предложения заключается в следующем. После начала сгущения, при достижении концентрации сухих веществ во втором корпусе 42-44 % в поток сгущаемого продукта вводят затравку в виде мелкокристаллической лактозы или циклонной фракции сухой сыворотки. Сгущение проводят до содержания сухих веществ 56-58 %. Поток продукта, отбираемый из аппарата, охлаждают до температуры 28-32 °С. Далее следует непродолжительная выдержка в промежуточных емкостях перед сушкой в течение 0,5-1,0 часа и подача на сушку. Опыт показал, что при этом достигается степень кристаллизации до 45 %. Такая сыворотка гораздо лучше подвергается сушке, менее гигроскопична, обладает высокой сыпучестью (Пат. 15007 Республика Беларусь).

При необходимости, после вакуум-выпарного аппарата сгущенную сыворотку для завершения процесса кристаллизации можно направлять в охлаждаемую емкость, оборудованную мешалкой, где производят окончательное охлаждение до температуры 16-18 °С со скоростью 0,5-2,5 °С/ч. После окончательного охлаждения допустима выдержка в течение 2-8 ч. Непосредственно перед подачей на сушку, охлажденную сыворотку желательно

подогревать до температуры 55 ± 10 °С, что повышает производительность сушилки на 3-6 %. Внедрение технологии кристаллизации лактозы молочной сыворотки позволяет повысить общую производительность оборудования по конечному продукту на 25-50 %, снизив при этом удельные затраты тепла на 0,4-1,0 Гкал/т готовой продукции.

Важным является получение однородных кристаллов размером более 150 мкм (рисунок 3.13). При этом следует избегать таких режимов охлаждения и перемешивания, которые приводят к резкому, вплоть до потери текучести, возрастанию вязкости сгущенной сыворотки. Как правило, это связано со слишком большим количеством мелких, до 100 мкм, кристаллов, образующихся при излишнем количестве центров кристаллизации, большом пресыщении или высокой скорости охлаждения.



Рисунок 3.13 – Кристаллы лактозы, оптический микроскоп ($\times 100$)

В итоге получается сухой сыпучий продукт, который лучше улавливается циклонами, значительно меньше налипает на стены башни и продуктопроводы. Технология производства сухой кристаллизованной молочной сыворотки на настоящий момент является промышленным стандартом, и лишь в редких случаях предпочтение отдается сухой сыворотке с лактозой в аморфной форме.

Итоги исследования показали, что сушка кристаллизованной сыворотки дает следующие преимущества:

- повышение общей производительности оборудования по конечному продукту;
- внедрение предлагаемой технологии на существующем сушильном оборудовании позволит повысить производительность по готовому продукту до двух раз;
- значительное снижение себестоимости готовой продукции за счет сокращения затрат тепла и электроэнергии;
- существенное снижение пылеуноса за счет увеличения насыпной плотности конечного продукта;
- упрощение работы сушилки, ее обслуживания и мойки за счет уменьшения отложений.

Состав соковых паров и направления их использования. В ходе исследований был проведен ряд экспериментов с целью определения качества работы вакуум-выпарных аппаратов на молокоперерабатывающих заводах. Проведена работа по определению состава соковых паров и возможных направлений их использования. Известно, что в результате баромембранной обработки удаляется до 80 % содержащейся в сыворотке влаги и получается сывороточный концентрат с содержанием сухих веществ 16-20 %. Удаляемая при этом вода – пермеат (фильтрат) – является ресурсом для получения технической воды и используется на заводах для мойки оборудования.

Важным ресурсом является так же конденсат соковых паров, получаемый при вакуум-выпаривании различных продуктов в следующих объемах:

- при выработке сгущенного до 46 % цельного молока получается примерно 73 % соковых паров от первоначального объема сырья;
- при выработке сгущенного до 46 % обезжиренного молока – 79 % соковых паров;
- при выработке сгущенной до 54 % сыворотки из нативной сыворотки с содержанием 6 % сухих веществ – 89 %, соковых паров;

– при выработке сгущенной до 54% сыворотки из концентрированной до 18 % сухих веществ – 67 % соковых паров.

Вместе с тем, его широкому использованию препятствует недостаточное количество данных по его нормальному физико-химическому составу. Нами совместно с компанией ООО «Вздухоторг» (VZDUCHOTORG, spol. s.r.o.), Словацкая Республика, был проведен мониторинг минерального состава и физико-химических показателей соковых паров (таблица 3.39).

Таблица 3.39 – Минеральный состав и физико-химические показатели соковых паров

Оценка	Белок, %	Лактоза, %	Фосфор, %	Жесткость, моль/м ³	Проводимость, мкСм/см	Ориентировочный минеральный состав, мг/дм ³			
						Ca	Mg	K	Na
Неудовлетвори- тельно, более	0,05	0,05	0,010	1,40	200,0	61,0 ±5,4	15,2 ±1,4	119,7 ±14,4	54,5 ±5,9
Удовлетвори- тельно, более	0,03	0,03	0,004	0,35	29,0	4,0 ±0,3	1,2 ±0,2	1,53 ±0,3	0,5 ±0,1
Отлично, менее	следы	следы	0,002	0,12	15,5	0,10 ±0,03	0,16 ±0,04	0,38 ±0,05	0,3 ±0,05

В результате исследований установлено, что серьезное отличие от приведенных показателей (таблица 3.39) служит признаком повреждения вакуум-выпарного аппарата, как правило, трубок калоризатора. Содержание золы и сухих веществ в норме должно быть меньше чувствительности стандартных для молочной промышленности методов их определения. Как правило, уровень рН соковых паров колеблется в пределах 5,7-6,5. Повышенный уровень рН свидетельствует о протекающих в калоризаторе протеолитических реакциях, пониженный, указывает на сбраживание лактозы. Нами предлагается в качестве экспресс-анализа оценки исправности вакуум-выпарного аппарата определение проводимости соковых паров – больше 30 мкСм/см – признак неисправности. Полученные данные позволяют рекомендовать использование конденсата соковых паров исправного вакуум-выпарного аппарата для первичного ополаскивания оборудования и приготовления моющих растворов.

3.8 Методы изоляции молочных белков

3.8.1 Осаждение белков методами высаливания и тепловой денатурации

Создание современных функциональных продуктов требует получения более однородных фракций молочных белков. Понятно, что только комбинация нескольких методов позволит предложить технологически состоятельный процесс, позволяющий получить промышленно чистые изоляты белков. В ходе работы были изучены комбинации методов выделения белков, основанных на их физико-химических особенностях.

Реакции осаждения белков делят на две группы: обратимые и необратимые. При необратимых реакциях осаждения белки подвергаются денатурации и, утрачивая свои нативные свойства, теряют способность растворяться в первоначальном растворителе. К таким реакциям относят осаждение белков при нагревании. При обратимых реакциях осаждения молекулы белка не подвергаются глубоким изменениям (разрушаются четвертичная и до 30 % третичной структуры), сохраняют свои нативные (первоначальные) свойства и полученные осадки можно вновь растворить в первоначальном растворителе. К названным реакциям относят осаждение белков высаливанием (осаждение белков нейтральными солями – NaCl, MgSO₄, (NH₄)₂SO₄, Na₂SO₄) [100, 199, 253, 264].

С целью оценки возможности фракционирования белков молочного сырья методом высаливания был проведен следующий эксперимент.

Исходное сырье: сыворотка молочная подсырная, молоко цельное непастеризованное.

Реактивы: насыщенный раствор сульфата аммония (NH₄)₂SO₄, сульфат аммония (NH₄)₂SO₄, сульфат магния MgSO₄, натрий хлористый NaCl, 10%-ный раствор гидроксида натрия NaOH, 1%-ный раствор сульфата меди CuSO₄, 1н раствор соляной кислоты HCl.

Оборудование: сепаратор для обезжиривания молока, баня водяная ТЖ-ТС-01, лабораторная установка электродиализа компании MEGA a.s. (Чешская

Республика), универсальная баромембранная установка, спектрофотометр Agilent 8453, рН метр HANNA HI 8314, кондуктометр HANNA HI 8733, весы ВК 3000.

Возможность фракционирования белков молочного сырья методом высаливания определяли на примере четырех образцов: сыворотка подсырная после нанофильтрации (СПНФ), молоко обезжиренное (МО), сыворотка казеиновая (СК), сыворотка казеиновая деминерализованная (СКДМ). Порядок подготовки исходного сырья для определения возможности фракционирования белков представлен на схеме (рисунок 3.14).

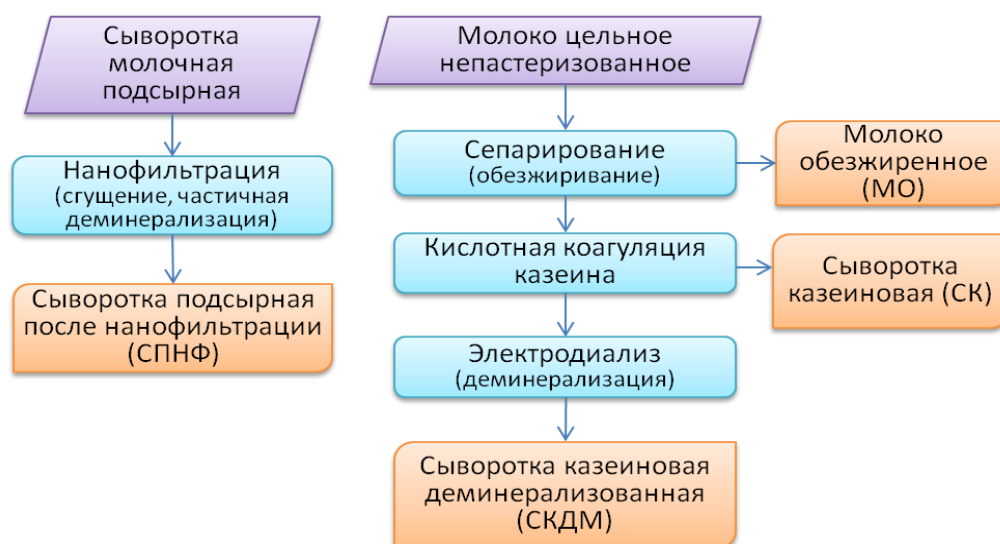


Рисунок 3.14 – Подготовка молочного сырья для проведения исследований

Сыворотку подсырную после нанофильтрации получили пропуская ее через универсальную баромембранную установку, укомплектованную нанофильтрационными мембранами производства ЗАО РМ «Нанотех» (РФ, г. Владимир) с заявленным порогом селективности 100 Да.

Молоко обезжиренное получали сепарированием молока цельного непастеризованного на лабораторном сепараторе. Сыворотку казеиновую получали последовательным добавлением к обезжиренному молоку 1 н раствора HCl до достижения значения рН 4,6. Затем проводили нагрев на водяной бане до температуры 46 °С для ускорения процесса отделения казеиновой фракции белков

молока. Полученный белый хлопьевидный осадок отделяли фильтрованием. Сыворотку казеиновую деминерализованную получили на лабораторной установке электродиализа.

Проведение эксперимента. Высаливание белков молочного сырья проводили с использованием трех солей: сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, сульфата магния MgSO_4 , натрия хлористого NaCl .

Построение эксперимента с использованием сульфата аммония основано на теоретических данных об особенностях фракционирования белков молока данным видом соли (рисунок 3.15). К 5 мл молочного сырья (сыворотка различных видов, молоко обезжиренное) добавили 5 мл насыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Полученный раствор после перемешивания отстаивали 10-15 мин. В результате наблюдали выпадение осадка, который был отделен на бумажном фильтре.

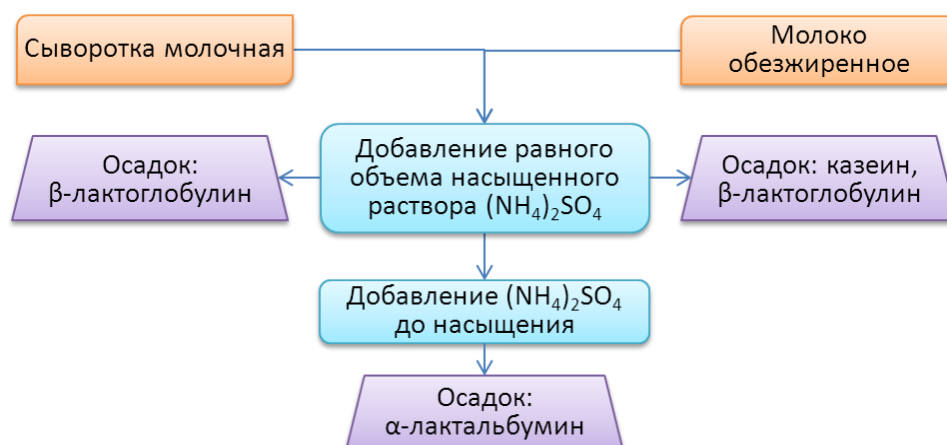


Рисунок 3.15 – Порядок фракционирования белков молока сульфатом аммония

К полученному фильтрату добавили $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в расчетном количестве для полного насыщения, исходя из растворимости соли равной 75,4 г на 100 мл воды (при температуре 20 °С). Наблюдали помутнение фильтрата и последующее его фракционирование. Полученный осадок отфильтровывали через складчатый бумажный фильтр (таблица 3.40).

Таблица 3.40 – Результаты фракционирования белков с использованием $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

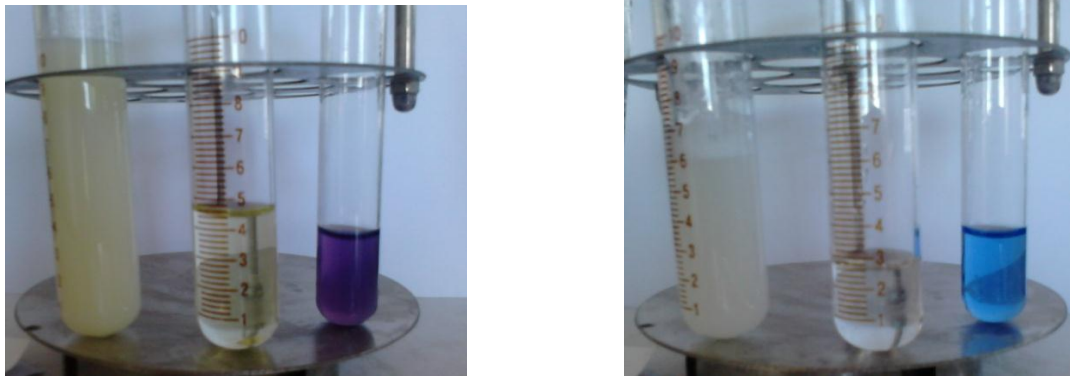
Наименование сырья	Добавления полунасыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Насыщение $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Сыворотка подсырная нанофильтрованная (СПНФ)	Образование хлопьевидного осадка	Образование хлопьевидного осадка
Молоко обезжиренное (МО)	Образование белого хлопьевидного осадка	Образование хлопьевидного осадка
Сыворотка казеиновая (СК)	Образование хлопьевидного осадка	Образование хлопьевидного осадка
Сыворотка казеиновая деминерализованная (СКДМ)	Образование осадка в виде мути	Образование осадка в виде мути

Исходя из данных, приведенных в таблице, следует отметить, что для указанных видов молочного сырья возможно применение последовательного осаждения белковых фракций молока. Наличие белка в получаемых фильтратах определяли двумя способами: спектрофотометрическим методом и проведением качественной реакции на белки – биуретовой пробы. Спектрофотометрический метод определения основан на измерении оптической плотности при длине волны 280 нм (таблица 3.41). Определение значения оптической плотности проводили на спектрофотометре Agilent 8453. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Таблица 3.41 – Результаты измерения оптической плотности растворов при проведении высаливания

Наименование образца	Оптическая плотность при $\lambda=280$ нм			
	1	2	3	среднее
СК	4,000	4,000	3,992	3,997
Фильтрат СК после добавления полунасыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3,280	3,359	3,323	3,321
Фильтрат СК после насыщения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2,742	2,758	2,773	2,758
СКДМ	3,341	3,354	3,313	3,336
Фильтрат СКДМ после добавления полунасыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2,636	2,632	2,617	2,628
Фильтрат СКДМ после насыщения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,006	1,013	1,013	1,011

Биуретовую реакцию использовали для определения наличия белков в фильтратах сыворотки после поэтапного осаждения сульфатом аммония (рисунок 3.16).



а)

б)

а) фильтрат СПНФ после добавления полунасыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,

б) фильтрат СПНФ после насыщения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Рисунок 3.16 – Биуретовая реакция

Исходя из данных о проведении процесса высаливания, полученных результатов спектрофотометрического определения и биуретовой реакции установлено, что при последовательном увеличении концентрации сульфата аммония возможно разделение белков молока на фракции. Технологически значимой особенностью высаливания является обратимость данного способа. При добавлении к получаемым осадкам избытка воды они переходят в растворимую форму.

Проведены эксперименты по определению возможности фракционирования белков молока другими солями: натрий хлористый, сульфат магния. Следует отметить, что при добавлении данных видов солей до насыщения в соответствии с их растворимостями наблюдается выпадение осадков, однако эффективность данных солей при высаливании низкая. Об этом свидетельствуют результаты спектрофотометрического анализа фильтратов, представленные в таблице 3.42.

Таблица 3.42 – Результаты высаливания белков с использованием NaCl и MgSO_4

Наименование сырья	Оптическая плотность при $\lambda=280$ нм							
	насыщение NaCl				насыщение MgSO_4			
	1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
СК	3,394	3,376	3,390	3,387	3,507	3,421	3,426	3,451
СКДМ	3,126	3,140	3,121	3,129	2,774	2,784	2,786	2,781

Тепловая денатурация белков молока. Тепловая денатурация белков молока в большей степени характерна для сывороточных белков, так как они являются термолабильной частью белков молока. Денатурация сывороточных белков является двухстадийным процессом: после разворачивания белковых молекул наступает их агрегация. Нами был построен эксперимент по выделению фракций сывороточных белков молока тепловой денатурацией [53, 285].

Реактивы: 1н раствор гидроксида натрия NaOH, 1н раствор соляной кислоты HCl, 10%-ный раствор гидроксида натрия NaOH, 1%-ный раствор сульфата меди CuSO₄

Оборудование: баня водяная ТЖ-ТС-01, спектрофотометр Agilent 8453, рН-метр HANNA HI 8314, кондуктометр HANNA HI 8733, весы ВК 3000.

Проведение эксперимента. Проведен ряд опытов по определению возможности последовательной тепловой денатурации сывороточных белков. Для этого 10 мл сыворотки помещали в пробирку и ставили на водяную баню (рисунок 3.17).

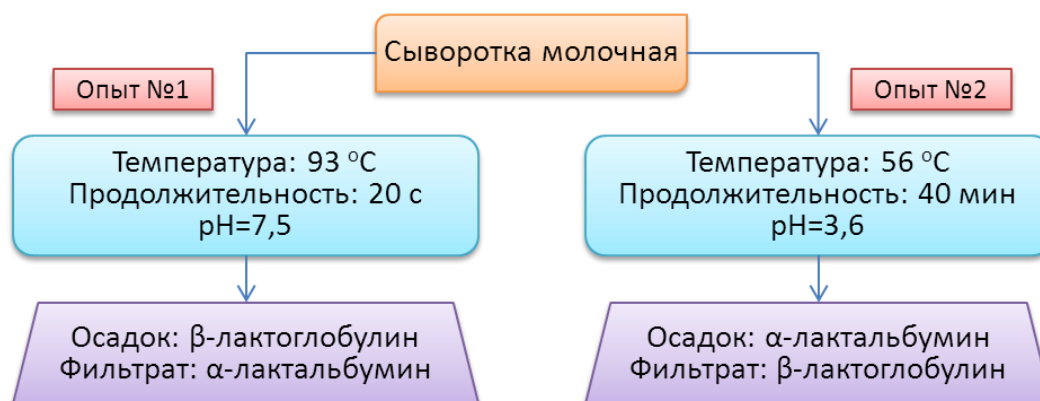


Рисунок 3.17 – Порядок проведения тепловой денатурации белков молока

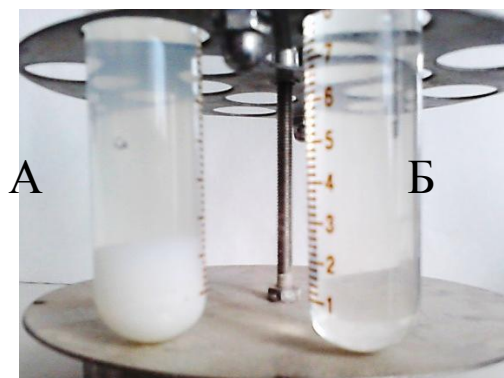
Проведены исследования возможности выделения фракций сывороточных белков молока в трех образцах: сыворотка казеиновая, сыворотка казеиновая деминерализованная, сыворотка подсырная после нанофильтрации (рисунок 3.18, таблица 3.43).

Таблица 3.43 – Результаты тепловой денатурации молочного сырья

Наименование сырья	Опыт №1	Опыт №2
Сыворотка подсырная после нанофльтрации	+	+
Сыворотка казеиновая	+	+
Сыворотка казеиновая деминерализованная	–	–

Примечание «+» - наблюдается выпадение осадка

«–» - выпадение осадка не наблюдается



(а – СК, б – СКДМ)

Рисунок 3.18 – Тепловая денатурация белка при проведении опыта №2

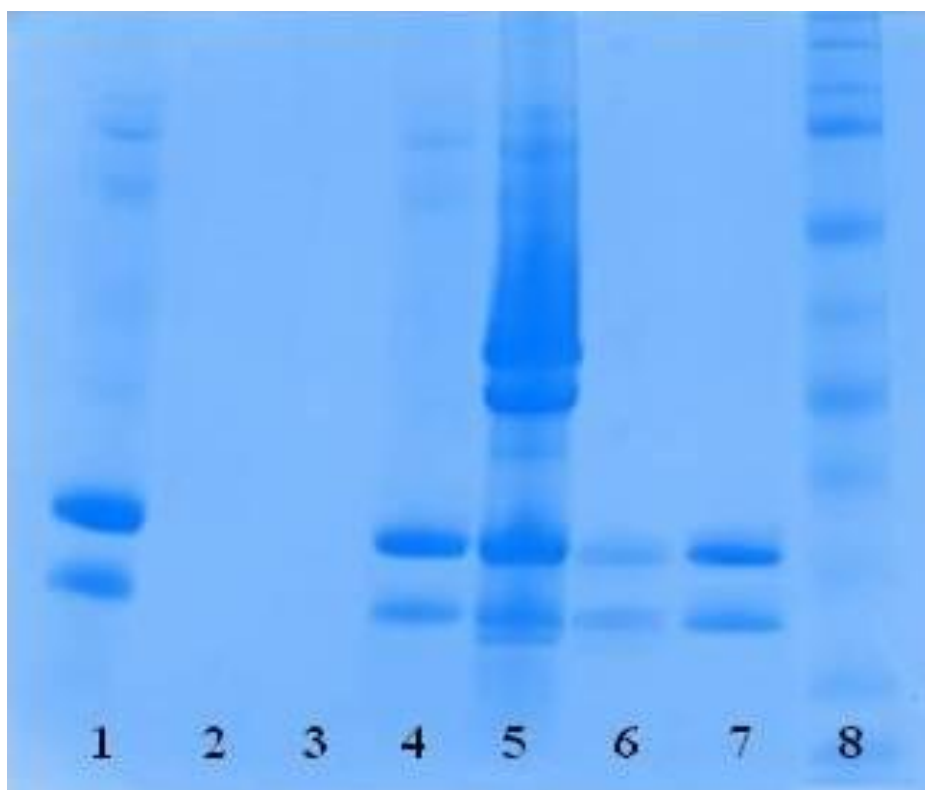
Полученные результаты свидетельствуют о влиянии на тепловую денатурацию следующих факторов: рН, концентрация белка, наличие прочих растворенных веществ (солей, лактозы). При высокой концентрации белков и частичном удалении растворенных веществ (СПНФ) проведение тепловой денатурации с выделением различных фракций осуществляется согласно теоретическим данным. При уменьшении концентрации растворенного белка (СК) денатурированные белки остаются в растворенном состоянии и не выпадают в осадок [1]. Деминерализация и низкая концентрация белка (СКДМ) оказывают стабилизирующее действие на белки молочного сырья, при этом осаждение фракций затруднено.

3.8.2 Возможности применения мембранных методов для разделения белковых фракций молочного сырья

Изучение возможности применения мембранных методов для разделения белковых фракций молочного сырья проводили на лабораторно-экспериментальной установке для фракционирования белков молочного сырья, принцип работы которой основан на методе ультрафильтрации.

Для определения возможности применения мембранных методов использовали следующее сырье: молоко обезжиренное, сыворотку подсырную и сыворотку казеиновую.

Процесс фракционирования проводили при различных температурных режимах исходного сырья 20 и 50 °С, а также при постепенном увеличении рабочего давления установки от 0,2 до 0,5 МПа. Использовали два типа мембранных элементов с селективностью 20 и 50 кДа (рисунок 3.19).



(1 – сыворотка казеиновая (СК), 2 – фильтрат СК (P=0,2 МПа), 3 – фильтрат СК (P=0,5 МПа), 4 – концентрат СК, 5 – молоко обезжиренное (МО), 6 – фильтрат МО (P=0,2 МПа), 7 – фильтрат МО (P=0,5 МПа), 8 – маркер молекулярных масс)

Рисунок 3.19 – Результаты ДСН-электрофореза

По результатам отработки технологических этапов процесса фракционирования белков молочного сырья установлено, что проведение процесса ультрафильтрации при давлении 0,5 МПа и использовании мембраны с селективностью 50 кДа при температуре обрабатываемого сырья 50 °С позволяет провести отделение фракций низкомолекулярных белков.

3.8.8 Комбинированные методы фракционирования белков молочного сырья

Рассмотрены способы комбинирования представленных технологических приемов для выделения отдельных фракций белков молочного сырья.

Комбинированный метод №1. Метод заключается в комбинировании осаждения, центрифугирования и мембранной обработки [276]. При планировании эксперимента для осаждения отдельных фракций белков были выбраны трихлоруксусная кислота и натрий хлористый в сочетании с соляной кислотой.

Исходное сырье: сыворотка молочная подсырная.

Реактивы: 6%-ный раствор трихлоруксусной кислоты (ТХУ), натрий хлористый NaCl, 2М раствор соляной кислоты HCl.

Подготовка исследуемых образцов. Для осаждения фракций белков с использованием ТХУ подготовку образцов не осуществляли.

Для более эффективного проведения процесса осаждения белков натрием хлористым в сочетании с соляной кислотой проводили концентрирование белков сыворотки с применением метода мембранной обработки (ультрафильтрации). Ультрафильтрацию осуществляли на лабораторно-экспериментальной установке для проведения фракционирования белков молочного сырья с селективностью мембраны 20 кДа, что позволяет провести частичное удаление из молочного сырья минеральных веществ и лактозы, а также повысить содержание белка (рисунок 3.20). При этом выделение отдельных фракций белков в пермеат не происходит, что подтверждается результатами, полученными ранее.

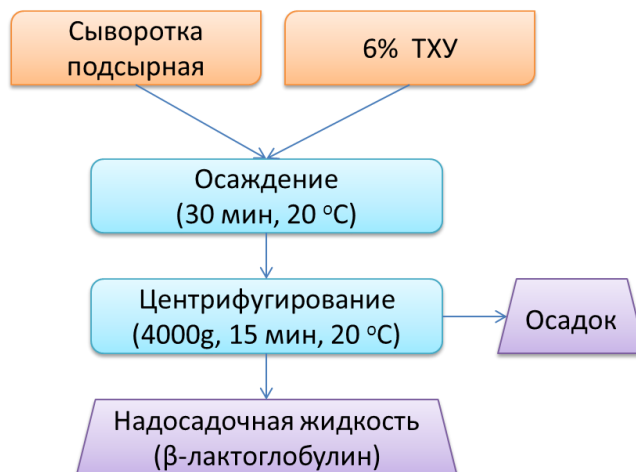


Рисунок 3.20 – Последовательность операций при проведении комбинированного метода №1а

Для проведения комбинированного метода №1а сыворотку подсырную смешивали с равным объемом 6%-ного раствора ТХУ, проводили осаждение в течении 30 минут при комнатной температуре, наблюдая постепенное расслоение жидкости. На лабораторной центрифуге отделяли полученный осадок.

Надосадочная жидкость (супернатант) содержит β -лактоглобулин, что подтверждается результатами электрофореза. Для получения сухого β -лактоглобулина была проведена диафильтрация супернатанта, сгущение и последующую сушку под вакуумом при температуре 35 °С.

Для проведения комбинированного метода №1б сыворотку сгущенную смешивали с NaCl (из расчетной концентрации 7%), доводили рН до значения 2,0 используя 2М раствор соляной кислоты, проводили осаждение в течении 20 минут при комнатной температуре. На лабораторной центрифуге отделяли полученный осадок (рисунок 3.22). Надосадочная жидкость содержит β -лактоглобулин, что подтверждается результатами электрофореза. Для получения сухого β -лактоглобулина необходимо провести последовательность действий, описанную ранее в комбинированном методе №1а.

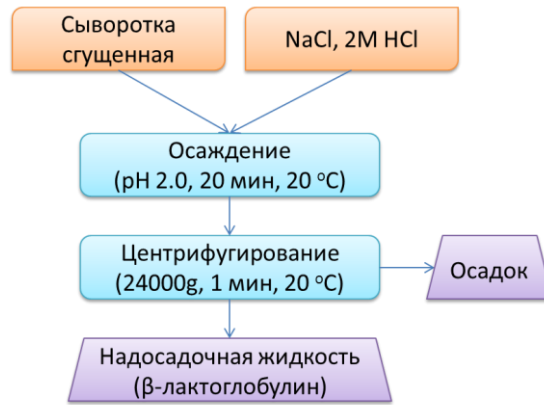


Рисунок 3.22 – Последовательность операций при проведении комбинированного метода №1б

Комбинированный метод №2. Метод заключается в сочетании тепловой денатурации, центрифугирования и/или мембранной обработки.

Основываясь на свойствах отдельных белков молочного сырья и изменяя указанные выше параметры был построен эксперимент по определению возможности выделения различных фракций белков при комбинировании тепловой денатурации с другими способами.

Исходное сырье: сыворотка молочная подсырная.

Реактивы: 2М раствор соляной кислоты HCl, 10%-ный раствор NaOH.

Подготовка исследуемых образцов осуществлялась аналогично с подготовкой для комбинированного метода №1.

Последовательность действий по выделению фракций отдельных белков молочного сырья комбинированным методом №2а представлена на рисунке 3.23.

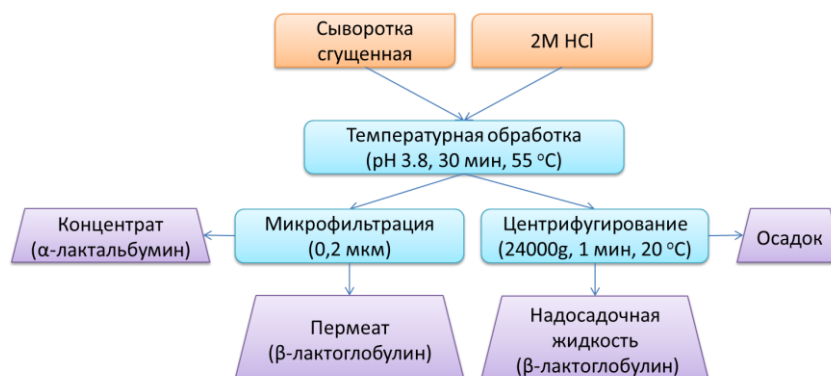


Рисунок 3.23 – Последовательность операций при проведении комбинированного метода №2а

Для проведения комбинированного метода №2а доводили значение pH сыворотки сгущенной до 3,8, используя 2М раствор соляной кислоты. Далее проводили температурную обработку при 55 °С в течение 30 минут. Такие физико-химические условия включают обратимую полимеризацию белков, которые осаждаются вместе с иммуноглобулинами и альбумином. Отделение осадка возможно с применением центрифугирования или микрофльтрации, режимы которых представлены на рисунке 3.23. Следует отметить, что для получения чистого β-лактоглобулина (чистота 95%) далее необходимо применять ультрафльтрацию в комбинировании с диафльтрацией.

Особенностью предложенного метода является возможность восстановления α-лактальбумина (чистотой 60%) из осадка, полученного после центрифугирования, или концентрата, полученного после микрофльтрации [72].

Последовательность действий для комбинированного метода №2б представлена на рисунке 3.24.

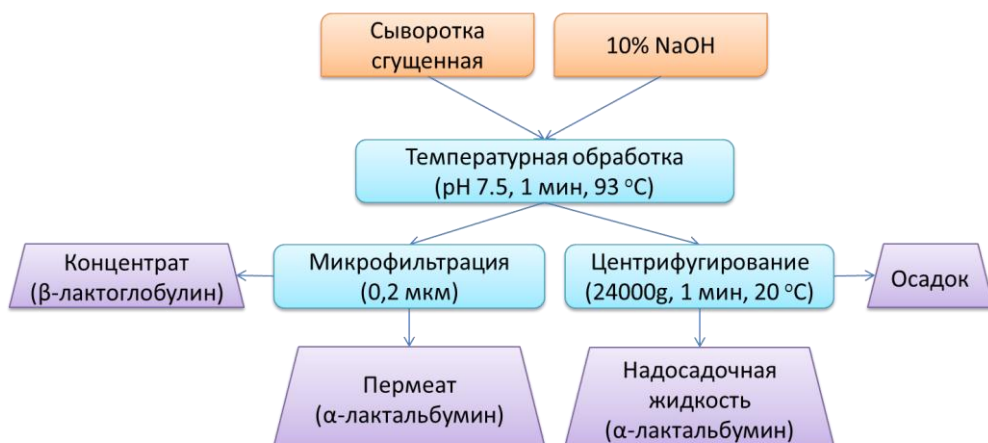


Рисунок 3.24 – Последовательность операций при проведении комбинированного метода №2б

Для проведения комбинированного метода №2б доводили значение pH до 7,5, используя 10%-ный раствор NaOH, проводили температурную обработку при 93 °С в течение 1 минуты.

Комбинированный метод №3. Метод заключается в комбинировании хроматографии (гель-фильтрации) и мембранной обработки.

Исходное сырье: сыворотка молочная подсырная.

Реактивы: буферный раствор (0,1М ТРИС-НСl рН 8,0, содержащий 0,2М NaCl), гель сефадекс (пористость 100).

Подготовка исследуемых образцов осуществлялась аналогично с подготовкой для комбинированного метода №1 путем сгущения на лабораторно-экспериментальной установке для проведения фракционирования белков молочного сырья с селективностью 20 кДа.

Порядок проведения процесса гель-фильтрации молочной сыворотки.

Принцип метода гель-фильтрации основан на разделении белков сыворотки в соответствии с их молекулярным весом на колонке, заполненной гелем сефадекс.

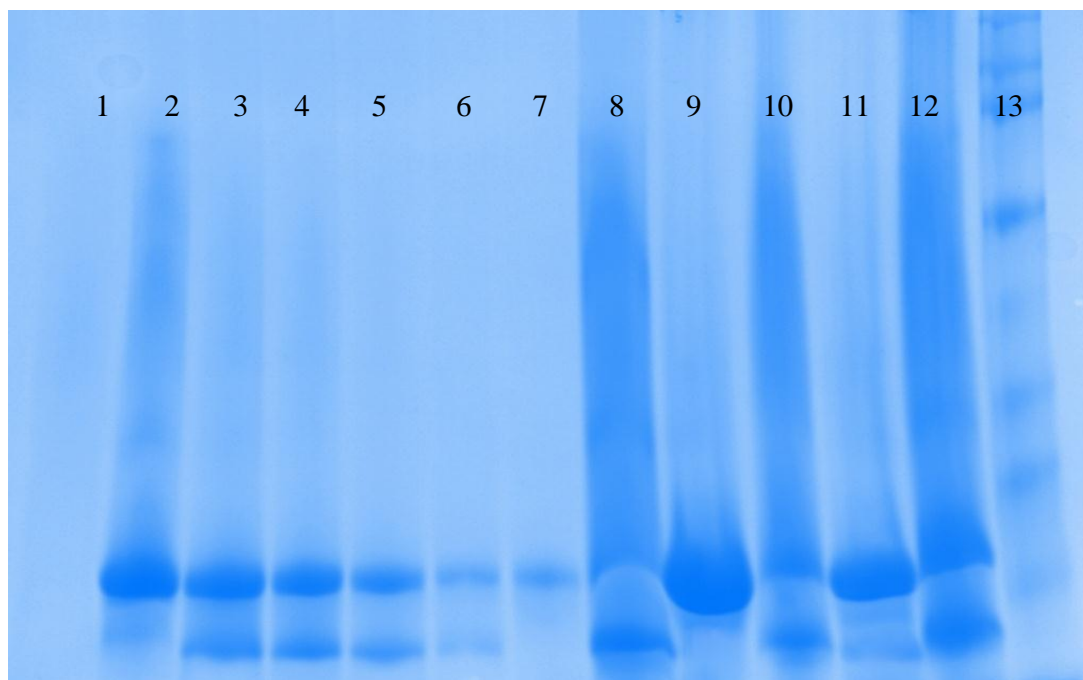
Подготовку колонки с сефадексом осуществляли следующим образом. Заполнение колонки проводили разбавленной суспензией сефадекса, следя за тем, чтобы образующиеся при заполнении пузырьки воздуха не задерживались в столбике геля. На дне колонки расположили керамический фильтр, что обусловлено необходимостью проведения процесса гель-фильтрации под давлением. После оседания геля осуществляли трехкратное промывание колонки дистиллированной водой (для вымывания спиртосодержащего раствора, в котором хранился гель) [288].

По завершении отмывания геля дистиллированной водой, заполнили колонку буфером. В качестве буфера использовали 0,1М ТРИС-НСl рН 8,0, содержащий 0,2М NaCl. Буферный раствор выпускали из колонки под давления до достижения уровня геля. Затем осторожно, чтобы не взмутить верхний слой геля, на сефадекс наслаивали 10 мл образца (сыворотки сгущенной). После того, как нанесенный препарат «вошел» в гель, его остатки смывали тремя порциями буферного раствора.

В ходе проведения гель-фильтрации собирали фракции сыворотки, которые затем анализировали методом электрофореза.

Электрофоретический анализ образцов, полученных при применении комбинированных методов

Анализ образцов, полученных при применении комбинированных методов обработки молочного сырья с целью определения возможности их использования для фракционирования белков молочного сырья, осуществляли с использованием методики определения фракционного состава белков молока методом ДСН-электрофореза (рисунок 3.26).



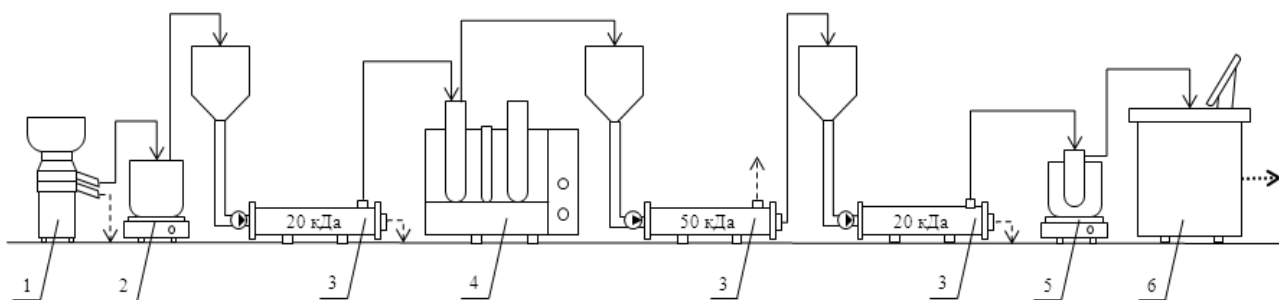
(1 – образец 1 комбинированный метод (КМ) №3; 2 – образец 2 КМ №3, 3 – образец 3 КМ №3, 4 – образец 4 КМ №3, 5 – образец 5 КМ №3, 6 – образец 6 КМ №3, 7 – супернатант КМ №1а, 8 – осадок КМ №1а, 9 – супернатант КМ №1б, 10 – осадок КМ №1б, 11 – супернатант КМ №2а, 12 – осадок КМ №2а, 13 – маркер молекулярных масс)

Рисунок 3.26 – Результаты электрофореза образцов, полученных при применении комбинированных методов

Для комбинированного метода № 3, в основе которого способ обработки гель-фильтрация, были проанализированы 6 образцов. Образцы отобраны последовательно при проведении гель-фильтрации. Первый образец отобран в начале процесса и характеризуется отсутствием белковой фракции. Второй образец свидетельствует о последовательном прохождении слоя геля белками с различными молекулярными массами. Образцы 3-6 характеризуют дальнейшее

проведение гель-фильтрации. Исходя из интенсивности окрашивания характерных белковых полос, следует отметить, что количество β -лактоглобулина снижается, α -лактальбумина сначала возрастает, а затем также снижается.

Для комбинированного метода №1а в надосадочной жидкости содержится β -лактоглобулин, в осадке в большей степени α -лактальбумин. Для комбинированного метода № 1б, в основе которого было разделение с применением NaCl, результат аналогичен комбинированному методу №1а. Для комбинированного метода № 2а, в основе которого способ тепловой денатурации, в надосадочной жидкости содержится β -лактоглобулин. По результатам электрофореза для комбинированных методов № 1б и 2а следует отметить, что важно провести подбор режимов центрифугирования для лучшего разделения осадка и надосадочной жидкости, увеличив время либо ускорение при центрифугировании. Полученные результаты позволили разработать лабораторную технологию выделения отдельных фракций белков молочного сыра с применением комбинированных методов обработки (рисунок 3.27).



1 – сепаратор электрический бытовой, 2 – плитка электрическая, 3 – лабораторно-экспериментальная установка для фракционирования белков молочного сыра, 4 – лабораторная установка электродиализа, 5 – водяная баня, 6 – высокоскоростная центрифуга

Рисунок 3.27 – Принципиальная технологическая схема лабораторного процесса фракционирования белков

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Предложены концептуальные подходы к разработке технологии Low-heat. Базис технологии – молоко сорта «экстра», с обязательным применением поточного охлаждения на ферме. Бактофугирование, и/или микрофльтрация, для снижения количества микроорганизмов, особенно спорообразующих, обладающих высокой термостойкостью. Пастеризация проводится на минимально допустимых, по санитарным правилам, режимах. Для предварительного концентрирования продуктов целесообразно применение мембранных методов, для сгущения – исключительно вакуум-выпарные аппараты поточного типа с падающей пленкой и пониженной до 60-65 °С температурой в первом корпусе. Показано, что особое внимание следует уделить наличию правильно спроектированной, качественно смонтированной, работающей на обоснованных режимах с использованием эффективных средств системы санитарной обработки оборудования.

Установлено, что бактофугирование снижает КМАФАнМ в 4-10 раз, дрожжи в 2-10 раз, плесени до 10 раз. Микрофльтрация обладает гораздо большей эффективностью – КМАФАнМ в 100-10000 раз, дрожжи и плесени практически полностью.

2 Установлено, что за первый час работы производительность нанофльтрационной установки снижается до уровня 70-85 % от первоначальной, причем основная часть потерь производительности приходится на первые 30 минут работы. Показано, что с увеличением содержания сухих веществ в растворе значительно изменяется производительность установки, при изменении концентрации сухих веществ от 6,0 до 18,0 % производительность снижается практически в 6,5 раза. Определены уровни снижения зольности (уровень деминерализации) при нанофльтрации, в исследованных образцах составили до 38,7 % для подсырной сыворотки и до 28 % для творожной сыворотки. Наряду с этим установлено существенное, около 21 %, снижение титруемой кислотности творожной сыворотки. Установлены зависимости предельного содержания сухих

веществ концентрируемой сыворотки от давления процесса и типа сыворотки. Для подсырной сыворотки при давлении 2,0 МПа – 21,2 %, для творожной – 18,8 %. Определены физико-химические показатели продуктов нанофильтрационной обработки подсырной и творожной сыворотки.

3. Определены закономерности изменения, удельной проводимости при ионообменной обработке молочной сыворотки. Показано, что ограничивающими факторами применения данного процесса в молочном производстве являются относительно большие потери белка и сложности с дезинфекцией смол.

4. Изучены закономерности электродиализной обработки подсырной, подсырной соленой, творожной сывороток. Определены физико-химические характеристики продуктов электродиализной обработки для основных видов молочной сыворотки: подсырной, подсырной соленой, творожной. Результаты экспериментов показали, что технологически возможна совместная переработка подсырной сладкой и соленой сывороток с получением продукта, отвечающего требованиям к сухой сыворотке деминерализованной до 90 %. Проведение однократной диафильтрации на этапе нанофильтрационного концентрирования смеси позволяет повысить производительность электродиализной установки примерно на 5-7 %.

В ходе исследований были установлены эмпирические правила технологического расчета производительности электродиализных установок. Каждая ступень электродиализа сыворотки 50 %, 70 %, 90 % снижает производительность примерно в 2 раза. Переработка творожной сыворотки по сравнению с подсырной снижает производительность приблизительно в 2 раза. Использование обратного осмоса на этапе предварительного концентрирования сыворотки вместо нанофильтрации, также снижает производительность в 2 раза.

5. В ходе экспериментов установлено, что белки, содержащиеся в сыворотке, в ходе ее обработки на электродиализной установке отлагаются на поверхностях мембран в количестве 0,0335-0,120 г/м². Показано, что в составе отложений преобладает казеин – до 80 %, при том, что в исходной сыворотке его содержание составляет порядка 20-30 % от общего количества белка. При обработке смеси творожной сыворотки с обезжиренным молоком отложение

осадка, включающего казеин, составило 0,130-0,140 г/м². Столь высоким потерям казеина способствует высокая способность к образованию казеинами ионов при уровне рН ниже их изоэлектрической точки.

Выявлено, что характер зависимости содержания лактат-ионов в продукте от времени обработки хорошо описывается линейными уравнениями регрессии. Это создает предпосылки для точного регулирования данного показателя в конечном продукте путем задания программы работы установки.

6. Определено, что одним из перспективных путей использования концентратов солей является их использование в составе микроудобрений, которые будут использованы для полива травостоев лугов и пастбищ с целью увеличения их кормовой продуктивности. Обработка травостоев препаратом микроудобрения, изготовленного на основе концентрата солей молочной сыворотки, на различных бобовых и бобово-злаковых травостоях оказало положительное влияние на формирование урожайности зеленой массы. В среднем по всем вариантам опыта прибавка урожайности зеленой массы составила 8,42, 7,28, 2,68 %, или 14,4, 12,1, 3,84 ц/га для 3-го, 4-го и 5-го укосов соответственно. Таким образом, за все время укоса трав прибавка урожайности составила свыше 30 ц/га по сравнению с урожайностью контрольных делянок, не обрабатываемых микроудобрением, что позволяет сделать вывод о возможности использования концентрата в качестве удобрения.

7. Предложен новый способ кристаллизации молочной сыворотки при сгущении в вакуум-выпарном аппарате циркуляционного типа, основанный на непрерывной кристаллизации во втором корпусе аппарата.

8. Проведены исследования по определению возможности комбинирования тепловой денатурации, центрифугирования и мембранной обработки. Показано, что комбинирование осаждения, центрифугирования и мембранной обработки позволило выделить в виде отдельных фракций β -лактоглобулин и α -лактальбумин.

Глава 4 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Технологии муссов, напитков, паст и желе из молочной сыворотки

Новые технологии выработки муссов, напитков, паст и желе из молочной сыворотки разработаны в рамках мероприятия «Разработка технологии и изготовление опытных образцов оборудования производительностью до 500 кг/ч для получения новых продуктов на основе молочной сыворотки, в том числе напитков, паст, муссов, желе» научно-технической программы Союзного государства «Повышение эффективности пищевых производств за счет переработки их отходов на основе прогрессивных технологий и техники». Этот сегмент выпускаемой продукции является наиболее насыщенным как по ассортименту, так и по применяемым технологическим приемам, ингредиентам и технологическим добавкам, формирующим за счет изменения реологических свойств консистенцию готовых продуктов и обеспечивающим функциональные свойства [5, 17, 34, 35, 40, 54, 67, 68, 82, 87, 88, 91, 92, 105, 106, 113-115, 142, 146, 147, 163, 173, 215, 227, 250, 258, 261, 267-270, 272].

При проведении исследований по созданию рецептур напитков были проработаны оптимальные концентрации сухих веществ их основы – молочной сыворотки. Полученные результаты показали целесообразность изготовления продукта с содержанием сухих веществ сыворотки 7,5-10,0 %. Дальнейшее увеличение содержания сухих веществ нецелесообразно, поскольку в готовом продукте присутствует привкус сухих компонентов, а также наблюдается нагарообразование при тепловой обработке смеси. Более низкое содержание сухих веществ не обеспечивает получение продукта с оптимальными органолептическими показателями и хорошей консистенцией.

Изучение возможности изготовления напитков на основе молочной сыворотки, изготавливаемых путем прямого смешивания компонентов и

сбраживанием с помощью бактериальных заквасок, а также регулированием кислотности продукта путем добавления кислоты лимонной или аскорбиновой, показало, что оптимальные органолептические показатели имел продукт, кислотность которого составляла 65-110 °Т. Для достижения данных значений кислотности проводили сбраживание продукта или вносили кислоту лимонную в количестве 0,07-0,20 %. Определено, что для сбраживания могут быть использованы закваски, приготовленные на чистых культурах молочнокислых бактерий: термофильного стрептококка, болгарской палочки и ацидофильной палочки, в соответствии с рекомендациями изготовителей, для достижения необходимой кислотности. При получении напитков с функциональными свойствами в качестве функциональных ингредиентов использовались пребиотики (инулин и лактулоза) и пробиотики (закваска бифидобактерий) [4, 5].

Рассмотрена возможность использования в качестве наполнителей различных фруктовых, овощных соков и наполнителей, а также вкусоароматических добавок. На основании проведенных исследований было установлено, что оптимальные дозы внесения фруктовых, овощных соков и наполнителей составляют 3-10 % (в зависимости от их концентрации и содержания сахара). Оптимальные дозы внесения фруктовых порошков составляют 0,3-0,4 %. Причем более технологичным является использование именно сухих соков, поскольку при использовании других видов наполнителей необходимо учитывать, что каждый из них имеет определенное значение рН.

Поскольку при хранении напитков наблюдалось расслоение, были подобраны стабилизирующие добавки. Установлено, что при производстве напитков без сбраживания избежать расслоения позволяет использование стабилизаторов «СТМ-1» (производство РУП «Институт мясо-молочной промышленности») в количестве 0,15 % и «ХамульсионГТВ» в количестве 0,3 % от массы продукта; и для производства сброженных напитков «СТМ-1» рекомендуется вносить в количестве 0,05 %, «Про-Квик» и «Мультек» – 0,5 % от массы продукта (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Физико-химические показатели напитков на основе молочной сыворотки

Показатель	Значение
Массовая доля сахарозы (для напитка с ароматом и с плодовоовощным наполнителем), %	5,0-10,0
Активная кислотность, ед. рН	4,3- 6,5
Массовая доля поваренной соли (для напитка с наполнителем), %	1,0- 3,0
Массовая доля сухих веществ, %	5,0-16,0

Технология производства напитков на основе молочной сыворотки включает следующие операции: приемку и подготовку сырья, внесение стабилизатора, сахара, сухого сока, пастеризацию при 85-87 °С, охлаждение до температуры сквашивания (при изготовлении сквашенных продуктов), заквашивание и сквашивание сыворотки (или доведение рН лимонной кислотой до необходимого значения), перемешивание, охлаждение смеси до (20 ± 2) °С, розлив, упаковку, доохлаждение готового продукта при (4 ± 2) °С.

Отработка технологических режимов производства паст на основе молочной сыворотки позволила разработать и реализовать общую технологию сливочной и сливочно-растительной, с заменой молочного жира на комбинацию растительных, паст. Установлено, что данную замену можно осуществлять в количестве 50-60 % от общего количества жира, при этом не происходит ухудшение органолептических показателей продукта (рисунок 4.1).

При проведении исследований по созданию рецептур паст были технологически обоснованы концентрации сухих веществ их основы – сухой молочной сыворотки, составляющие 15-50 % от общей концентрации сухих веществ различных видов разработанных паст, подобрано сырье и установлены оптимальные дозы внесения всех компонентов: сыворотка сухая 12-14 %; сухое обезжиренное молоко 1,5-2,5 %; сахар – 1,0-6,0 %; соль – 1,0-2,0 %;



Рисунок 4.1 – Паста на основе молочной сыворотки

кислота лимонная – 0,2-0,3 %; ванилин – 0,002-0,003 %; вкусовые добавки фирмы Eto1 (09133, 09134, 09135) – 0,4-0,6 %; фруктовые порошки – 0,3-0,4 %; творог 40–50 %, масло сливочное – 8-25 %, клетчатка – 1,8-2,5 %; стабилизаторы: «СТМ-5» – 0,4-0,8 %, камедь рожкового дерева – 1,0-3,0 %, «Про-Квик» – 1,0-1,5 % (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Физико-химические показатели паст на основе молочной сыворотки

Показатель	Значение	
	Массовая доля жира, %	Не менее 10,0
Массовая доля соли, %	Не более 2,0	
Массовая доля влаги, %	Не более 70,0	
Кислотность, °Т, не более	200	
Массовая доля лактулозы (для пасты с лактулозой), %	0,15±0,05	
Массовая доля инулина (для пасты с инулином), %	1,0±0,2	

Разработан технологический процесс изготовления паст, который включает следующие этапы: приемка и подготовка сырья, составление смеси жидких компонентов (вода, сыворотка и продукты ее переработки, полученные с использованием электро- и баромембранных методов и биохимической обработки) со стабилизаторами, смешивание с компонентами, предусмотренными рецептурой (творог, сыворотка сухая, молоко сухое обезжиренное, сахар-песок, вкусоароматические добавки, краситель, регуляторы кислотности, масла), перемешивание 15-20 мин, тепловая обработка при $(85\pm 2)^\circ\text{C}$, охлаждение до 25°C при непрерывном перемешивании, расфасовка, упаковка, доохлаждение при $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ и структурообразование продукта.

При проведении исследований по созданию рецептур муссов было установлено, что количество сухой сыворотки не должно превышать 15 % (лучше – 8-10 %), поскольку при превышении данной концентрации в готовом продукте присутствует сывороточный привкус, несмотря на то, что вносятся вкусоароматические добавки и ароматизаторы. Установлены оптимальные дозы внесения компонентов: сыворотка сухая – 8,0-10,0 %; кислота лимонная – 0,07-0,1 %; ванилин – 0,002-0,003 %; фруктовые порошки – 1,0-1,5 %; пищевые красители

(понсо, тартразин) – 0,001-0,003 %; пищевые ароматизаторы, идентичные натуральным (апельсин, малина, абрикос, вишня, лимон) – 0,03-0,07 %; творог – 40-50 %, клетчатка – 1,8-2,5 %; стабилизаторы: «СТМ-1» – 0,5-0,8 %, камедь рожкового дерева – 0,6-1,0 %, желатин – 0,5-0,7 %. Подсырная сыворотка и продукты ее переработки, полученные путем электро- и баромембранных методов и биохимической обработки, могут использоваться для замены всей воды или ее части с соответствующим пересчетом рецептур (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Физико-химические показатели муссов на основе молочной сыворотки

Показатель	Значение	
	Массовая доля жира, %	Не менее 2,5
Массовая доля влаги, %	Не более 70,0	
Активная кислотность, ед. рН	4,0-7,0	
Массовая доля сахарозы, %	4,0-10,0	
Массовая доля лактулозы (для муссов с лактулозой), %	0,15±0,05	

Отработанный технологический процесс изготовления муссов включает следующие этапы: приемка и подготовка сырья, составление смеси жидких компонентов (вода, сыворотка и продукты ее переработки, полученные путем использования электро- и баромембранных методов и биохимической обработки) со стабилизаторами, смешивание с компонентами, предусмотренными рецептурой (творог, сыворотка сухая, сахар-песок, вкусоароматические добавки, краситель, регуляторы кислотности), перемешивание 15-20 мин, тепловая обработка при $(85\pm 2)^\circ\text{C}$, охлаждение до $40-45^\circ\text{C}$, взбивание, доохлаждение до 25°C , расфасовка, упаковка, доохлаждение при $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ и структурообразование продукта.

При проведении исследований по созданию рецептур желе были проработаны концентрации всех компонентов, установлены дозы их внесения: сыворотка сухая – до 10 %; кислота лимонная – 0,07-0,10 %; фруктовые порошки – 1,0-1,5 %; пищевые красители (понсо, тартразин) – 0,001-0,003 %; пищевые ароматизаторы, идентичные натуральным (апельсин, малина, абрикос, вишня,

лимон) – 0,03-0,07 %; стабилизаторы: камедь рожкового дерева – 1,5-2,0 %, желатин – 1,8-2,2 % (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Физико-химические показатели желе на основе молочной сыворотки

Показатель	Значение
Массовая доля сухих веществ, %	4,0 – 20,0
Массовая доля сахарозы, %	4,0 – 10,0
Активная кислотность, единиц рН	4,0 – 7,0

Технологический процесс изготовления желе включает следующие этапы: приемка и подготовка сырья, составление смеси компонентов, предусмотренных рецептурой (сыворотка, сахар-песок, вкусоароматические добавки, красители, регуляторы кислотности), перемешивание 15-20 мин, тепловая обработка при $(85\pm 2)^\circ\text{C}$, охлаждение до $35-40^\circ\text{C}$, расфасовка, упаковка, доохлаждение при $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ и структурообразование продукта.

В ходе исследования по определению сроков годности разработанных продуктов изучены изменения органолептических и физико-химических показателей продуктов в процессе хранения. Результаты исследований показали, что срок годности напитков, паст, муссов составляет 7 сут., желе – 10 сут. (без существенных изменений исследуемых показателей) при температуре хранения $(4\pm 2)^\circ\text{C}$. Коэффициент запаса составляет 1,5.

Технические условия и технологическая документация на новые виды молочных продуктов на основе молочной сыворотки: напитки, пасты, муссы, желе, разработаны, утверждены и зарегистрированы в установленном порядке.

4.2 Технологические аспекты использования микропартикулятов сывороточных белков

Одним из относительно новых инновационных способов обработки молочных белков в процессе их получения в концентрированном виде является микропартикуляция. Под микропартикуляцией понимаем управляемую комплексную термомеханическую обработку концентрата сывороточных белков с целью их денатурации с образованием частиц размером 1-10 μm . Средний размер частиц и форма статистического распределения определяется конструкцией аппарата, температурой, длительностью процесса, интенсивностью механического воздействия, в ходе которого белковые молекулы денатурируют и агрегируют в шарообразные структуры [272]. Благодаря собственно белковой природе оболочки жировых шариков, а также характерной форме и размерам частиц, микропартикулят воспринимается рецепторами ротовой полости как жирный (сливочный) продукт. Это свойство дает возможность эмулировать жир в пищевых продуктах, сохранив при этом сливочный вкус, присущий жиросодержащим продуктам, исключив из состава жир или значительно сократив его количество. Кроме того, сывороточные белки в микропартикулированной форме сохраняют свои биохимические показатели [6, 8, 57, 58, 152-157, 176, 200, 201, 256, 283, 290].

Из перечня выпускаемых в Республике Беларусь продуктов наибольшую концентрацию белка имеет КСБ-УФ-80, производимый на ОАО «Щучинский маслосырзавод». Исследование данного продукта позволит получить максимально высокую точность измерения, так как концентрация исследуемого компонента в нем наибольшая, и добиться наименьшей относительной погрешности измерений (таблица 4.6) [86, 158, 168, 169, 291].

Таблица 4.6 – Аминокислотный состав КСБ-УФ-80

Аминокислоты	Содержание, мг/100г
Незаменимые аминокислоты	
Изолейцин	4984,0±910,5
Лейцин	5848,0±232,0
Лизин	9376,0±1975,6
Метионин	1958,1±64,6
Фенилаланин	4224,0±490,9
Треонин	6896,0±1153,9
Триптофан	1184,0±236,9
Валин	4648,0±640,0
Сумма незаменимых аминокислот	39118,1±5704,4
Заменимые аминокислоты	
Аспарагиновая кислота	6754,0±1250,8
Серин	3870,2±704,0
Глутаминовая кислота	13759,7±2551,9
Пролин	5073,9±914,8
Цистеин	929,9±15,4
Глицин	4607,9±821,6
Аланин	2063,8±312,8
Тирозин	1248,0±149,1
Гистидин	2281,3±356,3
Аргинин	2906,4±481,3
Сумма заменимых аминокислот	43495,1±7558,0

Определено, что в КСБ-УФ-80 соотношение незаменимых и заменимых аминокислот составляет 0,47:0,53, что значительно превосходит рекомендуемое соотношение 0,36:0,64 [54, 55] по содержанию незаменимых аминокислот, необходимых для формирования мышц и регулирующих протекание важнейших процессов жизнедеятельности. Этим и объясняется тот факт, что основой большинства белковых (протеиновых) смесей для спортсменов служат сывороточные концентраты. Также был разработан ряд специализированных продуктов с использованием и на основе концентратов сывороточных белков (мясные и молочные жидкие).

Особенности применяемых технологий обеспечивают значимое количество молочного жира в концентратах сывороточных белков, что делает необходимым учитывать их жирнокислотный состав при составлении рецептур продуктов (таблица 4.7). Вместе с тем необходимо учитывать, использование такого

технологического приема как микрофльтрация позволяет практически полностью обезжирить продукт, что является важным при получении сырья для дальнейшее переработки, так как это существенно упрощает составление рецептур, в которых критически значимым параметром является заданный жирнокислотный состав (детское, диетическое питание и др.).

Таблица 4.7 – Жирнокислотный состав и сбалансированность КСБ-УФ-80

Жирные кислоты, г/100 г липидов	КСБ-УФ-80
Σ НЖК, в т.ч.	75,8±0,8
каприновая	4,5±0,1
лауриновая	6,1±0,1
тридекановая	0,2±0,1
миристиновая	17,9±0,1
пентадекановая	1,8±0,1
пальмитиновая	36,1±0,1
стеариновая	8,4±0,1
гептадекановая	0,6±0,1
Σ МНЖК, в т.ч.	20,5±0,5
миристоолеиновая	1,5±0,1
пальмитолеиновая	2,0±0,1
цис-10-гептадекановая	0,4±0,1
олеиновая	16,6±0,2
Σ ПНЖК, в т.ч.	3,7±0,27
линолевая	3,0±0,1
линоленовая	0,4±0,1
арахидоновая	0,1±0,04
эйкозатриеновая	0,2±0,03
Соотношение ω6/ ω3	7,5:1
ПНЖК:МНЖК:НЖК	1:5,5:20,5
(ПНЖК+МНЖК):НЖК	0,3

Основные компоненты минеральной составляющей КСБ-УФ-80 (зольность 2 %): фосфор (205,0±1,9 мг/100 г) → кальций (191,8±1,2 мг/100 г) → калий (94,1±0,9 мг/100 г) → магний (47,6±1,0 мг/100 г) → натрий (34,4±0,7 мг/100 г).

Цель следующего этапа исследований – определение технологических особенностей использования микропартикулятов при производстве белковых молочных продуктов: полутвердых сыров, мягких сыров с термокислотной коагуляцией белков молока, творога и плавленых сыров.

Исследования проводили с использованием сухих концентратов микропартикулированных сывороточных белков: «Simplese-100» (содержание белка 50,5%), «ProMilk 630M» (содержание белка 60 %) и микропатикулят, изготовленный на пилотной установке компании «GEA» на ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат» (Беларусь) с последующей сушкой в лабораторных условиях РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (содержание белка 54,9 %). В ряде опытов использовали микропатикулят производства ООО «Гадячсыр» (Украина).

Микропартикулированные белки вносили в обезжиренное молоко или нормализованную смесь перед пастеризацией. Содержание сухих веществ в смеси определяли после внесения белков. На основании предварительных исследований было установлено, что при подготовке смеси целесообразно осуществлять восстановление микропартикулированных белков в течение 3-4 ч, поскольку в этом случае сливочный привкус в продукте более выражен. Продление созревания восстановленного продукта дольше указанного времени не приводит к дальнейшему улучшению вкуса.

Выход готового продукта определяли по формуле

$$V_{\text{п}} = (M_{\text{пр}} \cdot 100 \%) / M_{\text{с}} \quad (4.1)$$

где $V_{\text{п}}$ – выход продукта, %; $M_{\text{пр}}$ – масса готового продукта, г; $M_{\text{с}}$ – масса исходного сырья, г.

Степень использования сухих веществ определяли по выражению

$$\text{СИ}_{\text{СВ}} = (M_{\text{пр}} \cdot \text{СВ}_{\text{пр}} \cdot 100 \%) / (M_{\text{с}} \cdot \text{СВ}_{\text{с}}) \quad (4.2)$$

где $\text{СИ}_{\text{СВ}}$ – степень использования сухих веществ, %; $\text{СВ}_{\text{пр}}$ и $\text{СВ}_{\text{с}}$ – содержание сухих веществ в готовом продукте и исходном сырье соответственно, %.

Использование микропатикулятов при производстве творога. Для исследования оптимального количества вносимого в смесь микропартикулированного белка по критерию «органолептические показатели» была поставлена серия экспериментов, в которых исследовали вкус, запах,

консистенцию готового продукта. Количество вносимого микропартикулированного белка изменялось в интервале от 0,5 до 3,0 % от массы обезжиренного молока. Установлено, что в диапазоне 1-2 % готовый продукт имеет наилучшие органолептические показатели, при этом четко выражен сливочный привкус в продукте, характерный для микропартикулированных белков.

Определено, что самая высокая степень использования сухих веществ наблюдалась при изготовлении творога с внесением микропартикулированного белка «Simplese-100». Он применялся для сравнительного анализа при изготовлении творога на основе микропартикулированных сывороточных белков, полученных на пилотной установке компании «GEA», причем последний микропартикул вносили в количестве 1, 2 и 3 % от массы обезжиренного молока, поскольку предварительно было установлено, что внесение в количестве более 3 % обеспечивает значительное ухудшение органолептических показателей. Микропартикулированный белок «Simplese-100» вносили в количестве 2 %, температура пастеризации смеси во всех случаях составляла 85 °С с выдержкой 10 с (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Сравнительные характеристики творога, выработанного при температуре пастеризации смеси 85 °С и с использованием микропартикулята

Показатель	Контроль без добавок	Вид микропартикулята, доза внесения			
		«Simplese -100», 2 %	полученный на пилотной установке		
			1 %	2 %	3 %
Выход продукта, %	16,0±0,5	21,4±0,7	18,1±0,4	21,4±0,9	32,9±1,1
Кислотность:					
титруемая, °Т	206±16	171±14	170±14	152±12	130±8
активная, ед. рН	4,4±0,1	4,6±0,1	4,6±0,1	4,6±0,1	4,6±0,1
Массовая доля влаги, %	76,6±0,3	79,6±0,4	77,4±0,3	79,2±0,3	83,8±0,5
Степень использования сухих веществ, %	37,5±1,6	43,0±1,8	44,9±1,5	44,1±1,6	49,7±1,7
Внешний вид и консистенция	Рассыпчатая, с наличием осязаемых частиц белка			Мягкая, мажущаяся	

Анализ полученных результатов показал, что по физико-химическим показателям творог, выработанный с использованием 1 или 2 % всех микропартикулированных белков,

соответствовал показателям, установленным в СТБ 315–2007 «Творог. Общие технические условия» (кислотность обезжиренного творога – не более 240 °Т, массовая доля влаги – не более 80 %). Творог хорошо удерживал влагу, имел нежную консистенцию и при его пониженной калорийности давал полноту вкуса жирного продукта.

В ходе опытов было установлено, что при использовании микропартикулированных сывороточных белков «Simplese-100», «ProMilk 630M» и микропартикулята производства ООО «Гадячсыр» количество вносимого продукта не должно превышать 2 % от массы обезжиренного молока. При внесении микропартикулята в количестве, превышающем 2 %, творожный сгусток плохо отделяет сыворотку, готовый продукт имеет повышенную массовую долю влаги и, кроме того, продукт приобретает сладкий привкус. Внесение сухих микропартикулированных белков в количестве менее 1 % не обеспечивает существенное улучшение органолептических показателей творога.

Внесение микропартикулята 2 % от массы обезжиренного молока, температура пастеризации смеси – 72 °С с выдержкой 20 с позволяет получить продукт с традиционными органолептическими показателями (общепринятый режим пастеризации) (таблица 4.9), но несколько большим выходом за счет увеличения сухого вещества.

Таблица 4.9 – Сравнительные характеристики творога, выработанного при температуре пастеризации смеси 72 °С и с использованием 2% микропартикулята

Показатель	Контроль творог без добавок	Вид микропартикулята		
		«Simplese-100»	«ProMilk 630M»	ООО «Гадячсыр»
Выход продукта, %	13,5±0,4	15,9±0,5	15,7±0,6	15,2±0,5
Кислотность: титруемая, °Т активная, ед. рН	220±14	196±15	210±16	215±15
	4,5±0,1	4,7±0,1	4,6±0,1	4,7±0,1
Массовая доля влаги, %	75,3±0,5	76,4±0,3	76,2±0,4	76,5±0,3
Степень использования сухих веществ, %	36,2±1,3	34,5±1,4	34,2±1,2	32,8±1,5
Внешний вид и консистенция	Рассыпчатая, с наличием осязаемых частиц белка			Мягкая, мажущаяся

Анализ полученных результатов показал, что при используемой температуре пастеризации 72 °С добавление микропартикулированных белков

приводит к увеличению массовой доли влаги в готовом продукте примерно на 1 %, снижению степени использования сухих веществ на 2-3 % и значительным потерям сухих веществ с сывороткой.

Поэтому для уменьшения потерь сухих веществ температуру пастеризации смеси увеличили до 85 °С с выдержкой 10 с. Количество вносимого микропартикулята принято 1 и 2% от массы обезжиренного молока (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Сравнительные характеристики творога, выработанного при температуре пастеризации смеси 85 °С и с использованием 1% и 2% микропартикулята

Показатель	Контроль творог без добавок	Вид микропартикулята		
		«Simplese- 100»	«ProMilk 630M»	ООО «Гадячсыр»
<i>1% микропартикулята</i>				
Выход продукта, %	14,3±0,2	20,3±0,4	19,1±0,3	17,9±0,3
Кислотность:				
титруемая, °Т	240±16	216±12	192±11	230±12
активная, ед.рН	4,3±0,1	4,5±0,1	4,7±0,1	4,5±0,1
Массовая доля влаги, %	77,2±0,3	79,3±0,4	78,4±0,3	77,9±0,4
Степень использования сухих веществ, %	36,4±0,9	43,5±1,1	42,6±1,0	40,8±1,2
Внешний вид и консистенция	Рассыпчатая, с наличием осязаемых частиц белка			Мягкая, мажущаяся
<i>2% микропартикулята</i>				
Выход продукта, %	15,3±0,3	23,3±0,5	21,1±0,3	19,9±0,4
Кислотность:				
титруемая, °Т	236±17	170±9	179±11	196±10
активная, ед.рН	4,5±0,1	4,6±0,1	4,6±0,1	4,8±0,1
Массовая доля влаги, %	79,4±0,4	80,6±0,5	81,2±0,5	81,1±0,4
Степень использования сухих веществ, %	35,4±0,7	42,7±0,8	37,4±0,7	35,6±0,7
Внешний вид и консистенция	Рассыпчатая, с наличием осязаемых частиц белка			Мягкая, мажущаяся

Результаты исследований показали, что увеличение температуры пастеризации смеси до 85 °С способствует увеличению степени использования сухих веществ в твороге с микропартикулятом на 2-10 % по сравнению с

контролем и образцами, выработанными при использовании более низкой температуры пастеризации смеси. Увеличение количества вносимого микропартикулята приводит к увеличению массовой доли влаги в готовом продукте до 80-81 %. Обезжиренный творог, полученный с использованием микропартикулированных белков, имел нежную консистенцию и вкус полножирного продукта. Установлено, что творог, выработанный с использованием микропартикулированных белков, имеет более низкое (до 70 °Т) значение титруемой кислотности по сравнению с творогом, выработанным без их использования.

Была проведена выработка творога с микропартикулированными белками с использованием еще более высокой температуры пастеризации смеси – 88, 90 и 92 °С. Результаты показали, что увеличение температуры пастеризации выше 85 °С не целесообразно, так как не приводит к значимому росту использования сухих веществ и сопровождается повышенным отложением белково-углеводных комплексов на теплообменных поверхностях оборудования.

Использование микропартикулятов при производстве полутвердых сыров. Осуществлен подбор оптимальной температуры для производства полутвердых сыров с микропартикулированными белками. На данном этапе исследований количество вносимого микропартикулята составило 2 % от массы молока, температура пастеризации смеси составляла 72 °С (традиционный режим) и 82 °С (для более полного использования сухих веществ) (таблица 4.11).

Анализ полученных результатов показал, что увеличение температуры пастеризации до 82 °С при производстве полутвердых сыров способствует снижению степени использования сухих веществ и ухудшению органолептических показателей сыра, поэтому при производстве полутвердых сыров с микропартикулятами необходимо пастеризовать смесь при 72 °С. Также установлено, что внесение микропартикулированных белков приводит к снижению титруемой кислотности полутвердых сыров и, соответственно, к увеличению активной кислотности.

Таблица 4.11 – Сравнительные характеристики полутвердых сыров, выработанных с использованием 2% микропартикулята

Показатель	Контроль (температура 72 °С)	Температура пастеризации смеси	
		72 °С	82 °С
Выход продукта, %	11,0±0,4	13,3±0,5	15,9±0,5
Кислотность: титруемая, °Т активная, ед.рН	62±4 5,98±0,06	58±4 6,64±0,07	52±4 6,81±0,09
Массовая доля влаги, %	61,0±0,5	63,0±0,4	66,5±0,6
Степень использования сухих веществ, %	35,7±0,5	36,8±0,7	33,2±0,6
Внешний вид и консистенция	Плотная, однородная		Немного мажущаяся
Вкус	Чистый, кисломолочный		Кисломолочный, водянистый привкус
Цвет	Белый, равномерный	Кремовый, равномерный по всей массе	

Сравнительный анализ результатов выработок полутвердых сыров, проведенных с использованием различных микропартикулированных белков («Simplese-100», «ProMilk 630M», микропартикулята производства ООО «Гадячсыр» и микропартикулята, полученного на пилотной установке на ОАО «Слущкий сыродельный комбинат»), показал, что самая высокая степень использования сухих веществ при стандартных органолептических показателях наблюдалась при изготовлении сыра с использованием микропартикулированного белка, полученного на пилотной установке.

Также исследована возможность использования микропартикулированных сывороточных белков для производства полутвердых сыров с различной массовой долей жира. Проведена выработка обезжиренных сыров и сыров с массовой долей жира в сухом веществе 10, 20, 30, 45 %. Как показал анализ полученных результатов, использование микропартикулированных сывороточных белков целесообразно при производстве обезжиренных и низкожирных сыров, поскольку при использовании микропартикулятов при производстве более жирных сыров (с массовой долей жира в сухом веществе выше 30 %) вкус продукта ухудшается и

становится водянистым, а также значительно ухудшается консистенция сыра, которая становится излишне мягкой.

Использование микропартикулятов при производстве плавленых сыров.

Исследована возможность использования микропартикулированных белков для производства плавленых сыров на основе творога. На начальном этапе исследований количество вносимого микропартикулята составило 2 % и 4 % от массы смеси, температура пастеризации смеси составляла 92 °С. Использовался микропартикулированный белок, полученный на пилотной установке компании «GEA». За основу была принята технология и рецептурный состав сыра плавленого пастообразного «Доброй раніцы» (ТУ РБ 100098867.089-2000, ТИ РБ 100098867.102-2007). При подготовке смеси осуществлялось восстановление микропартикулированных белков в течение 4 ч. Выработку осуществляли по рассчитанным рецептурам (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Рецептурный состав плавленых сыров на основе творога, г

Вид сырья	Образец			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Творог нежирный, массовая доля сухих веществ 20,0 %	710,9	690,9	590,2	730,9
Масло сливочное, массовая доля сухих веществ 75,0 %, массовая доля жира 72,5 %	—	—	140,7	—
Сухое обезжиренное молоко, массовая доля сухих веществ 95,0 %	6,0	6,0	6,0	6,0
Натрий двууглекислый, массовая доля сухих веществ 96,0 %	3,0	3,0	3,0	3,0
Соль пищевая, массовая доля сухих веществ 97,0 %	8,0	8,0	8,0	8,0
Стабилизатор «Камедь рожкового дерева»	10,0	10,0	10,0	10,0
Соль-плавитель (натрий триполифосфат), массовая доля сухих веществ 90,0 %	4,0	4,0	4,0	4,0
Микропартикулированный белок	20,0	40,0	—	—
Вода	238,1	238,1	238,1	238,1
Итого, г	1000	1000	1000	1000

Физико-химические показатели полученных образцов представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Физико-химические показатели экспериментальных образцов плавленых сыров

Показатель	Образец			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Титруемая кислотность, °Т	138±4	136±3	140±4	145±3
pH	5,26±0,09	5,32±0,07	5,26±0,08	5,26±0,07

Как показал анализ полученных результатов, использование микропартикулированных белков при производстве плавленых сыров не значительно влияет на титруемую и активную кислотность готовых продуктов.

Органолептическая оценка показала, что микропартикулированные белки в используемых количествах не заменяют молочный жир и не улучшают консистенцию плавленого сыра. Дальнейшее увеличение количества вносимых микропартикулированных белков до 10 % от массы смеси (шаг 2 %) также не повлияло на органолептические показатели плавленых сыров. Проведена выработка плавленых сыров с использованием в качестве белкового сырья полутвердого сычужного сыра. При производстве плавленого сыра рассматривали возможность замены сухого молока микропартикулятом. Выработку проводили по рецептурам, представленным в таблица 4.14, результаты приведены в таблица 4.15.

Таблица 4.14 – Рецептурный состав плавленых сыров

Вид сырья	Образец				
	№ 1	№ 2	№3	№4	№5
Творог нежирный, массовая доля сухих веществ 20,0 %	485,3	485,3	485,3	600,6	—
Сухое обезжиренное молоко, массовая доля сухих веществ 95,0 %	6,0	—	6,0	6,0	6,0
Сыр сычужный с массовой долей жира в сухом веществе 30 %	238,6	238,6	238,6	103,3	743,9
Натрий двууглекислый, массовая доля сухих веществ 96,0 %	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Стабилизатор «СТМ-5»	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Соль-плавитель (натрий триполифосфат), массовая доля сухих веществ 90,0 %	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Микропартикулированный белок	20,0	46,0	40,0	40,0	—
Вода	238,1	218,1	218,1	238,1	238,1
Итого, г.	1000	1000	1000	1000	1000

Таблица 4.15 – Физико-химические показатели экспериментальных образцов плавленых сыров

Показатель	Образец				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№5
Титруемая кислотность, °Т	98±4	94±4	96±3	105±5	91±4
pH	5,59±0,10	5,56±0,09	5,51±0,09	5,44±0,08	5,68±0,11

Органолептическая оценка полученных образцов показала, что микропартикулированные сывороточные белки не могут использоваться для замены сухого обезжиренного молока при производстве плавленых сыров, поскольку в данном случае происходит ухудшение консистенции и вкуса (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Рецептурный состав плавленых сыров, вырабатываемых с использованием различных микропартикулированных сывороточных белков

Вид сырья	Образец № 1	Образец № 2	Образец №3	Образец №4
Творог нежирный, массовая доля сухих веществ 20,0 %	485,3	485,3	485,3	485,3
Сухое обезжиренное молоко, массовая доля сухих веществ 95,0 %	6,0	6,0	6,0	6,0
Сыр сычужный	238,6	238,6	238,6	238,6
Натрий двууглекислый, массовая доля сухих веществ 96,0 %	3,0	3,0	3,0	3,0
Стабилизатор «СТМ-5»	5,0	5,0	5,0	5,0
Соль-плавитель	4,0	4,0	4,0	4,0
Микропартикулированный белок	40,0	40,0	40,0	40,0
Вода	218,1	218,1	218,1	218,1
Итого, г	1000	1000	1000	1000

Примечание. Образец №1 – выработанный с использованием микропартикулированных белков, полученных на пилотной установке компании GEA; образец №2 – Simplese-100; образец №3 – ProMilk 630M; образец №4 – производства ООО «Гадячсыр».

Анализ полученных результатов показал, что значение титруемой и активной кислотности практически не зависит от вида вносимого микропартикулята. Вместе с тем можно сделать вывод о нецелесообразности использования микропартикулятов для производства плавленых сырных продуктов, поскольку они не обеспечивают замену жира, а только вносят дополнительные сухие вещества.

4.3 Технология переработки мелассы, получаемой при производстве лактозы

Побочным продуктом производства молочного сахара является меласса, в которую отходит до 25 % сухого вещества сырья. Этот продукт содержит значительное количество питательных веществ, прежде всего лактозы и белков. Технологически неизбежным является большое, до 20-25%, содержание золы в сухом веществе этого продукта. Цель настоящих исследований – отработка в экспериментальных условиях процесса деминерализации мелассы методом электродиализа с последующей сушкой и определением физико-химических свойств сухого продукта из мелассы.

Блок-схема исследований процесса получения мелассы сухой деминерализованной представлена ниже (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Блок-схема исследований технологии получения мелассы сухой деминерализованной

Исходным сырьем для проведения опытов явилась меласса молочная, полученная при производстве лактозы с предварительным отделением белка методом ультрафильтрации. Исследовались два различных образца мелассы (таблица 4.17). Образец мелассы №1 был получен при производстве молочного сахара-сырца, при этом кристаллы лактозы не промывались, образец имеет большее содержание сухих веществ и зольность. Образец №2 получен в ходе производства очищенной лактозы. В этом случае при промывке в мелассу уходит относительно большее количество лактозы и воды, соответственно, содержание сухих веществ и относительная зольность несколько меньше.

Таблица 4.17 – Физико-химические показатели исходного сырья

Показатель	Меласса	
	образец №1 (без промывки)	образец №2 (с промывкой)
Активная кислотность, ед. рН	5,66±0,11	5,53±0,13
Титруемая кислотность, °Т	81±5	67±6
Массовая доля сухих веществ, %	19,0±0,4	17,8±0,5
Удельная электропроводимость (УЭП), мСм/см	35,7±1,6	24,7±1,4

Деминерализацию мелассы проводили на пилотной электродиализной установке типа ED-Y (MEGA, Чехия), оборудованной датчиками рН и кондуктометрами для определения основных параметров работы установки в потоке. Потоки продукта, концентрата и электродного раствора регулировали вентилями и контролировали по ротаметрам.

В ходе экспериментов уровни деминерализации мелассы условно устанавливали по ее конечной удельной проводимости:

- I уровень – деминерализация мелассы 8,5-9,5 мСм/см;
- II уровень – деминерализация мелассы 3,5-5,5 мСм/см;
- III уровень – деминерализация мелассы 1,0-2,0 мСм/см.

Напряжение на пакете мембран в ходе эксперимента не менялось и составляло 64 В. Падение напряжения выбрано из условия 1,2 В на пару мембран (50 пар в пакете) и 4 В на две электродные группы (контактная пластина – электродный раствор). Каждый образец мелассы подвергали деминерализации по

трем уровням. Изменение параметров процесса фиксировалось с интервалом 5 мин (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Параметры процесса электродиализа (средние значения)

Образец №1 (без промывки)							Образец № 2 (с промывкой)						
Время, мин	Сила тока, А	Температура, °С	рН		УЭП, мСм/см		Время, мин	Сила тока, А	Температура, °С	рН		УЭП, мСм/см	
			Дилюат (продукт)	Концентрат	Дилюат (продукт)	Концентрат				Дилюат (продукт)	Концентрат	Дилюат (продукт)	Концентрат
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>I уровень деминерализации</i>													
0	2,9	19,7	5,84	8,64	36,00	3,44	0	6,1	14,4	5,52	4,41	23,0	2,00
5	3,6	21,0	5,88	5,54	33,70	5,44	5	8,6	13,4	5,60	5,14	13,7	17,4
10	5,8	20,5	5,91	5,29	31,10	8,72	10	8,0	13,1	5,62	5,24	10,6	22,1
15	9,5	18,2	5,95	4,89	25,45	17,98	15	6,9	12,6	5,64	5,23	8,7	23,9
23	9,5	15,4	6,00	5,31	17,40	32,30							
25	8,9	15,4	6,01	5,13	15,10	35,43							
30	7,8	13,9	6,03	5,49	11,35	41,76							
35	7,2	13,3	6,01	5,25	9,36	43,78							
<i>II уровень деминерализации</i>													
0	6,1	15,5	5,66	5,05	35,66	3,83	0	5,5	16,4	5,52	6,70	23,6	2,84
5	8,6	15,4	5,67	5,70	34,82	7,06	5	7,9	16,0	5,59	5,29	14,3	14,7
10	12,8	17,5	5,72	4,96	27,17	23,89	10	8,0	16,2	5,61	5,45	11,9	18,9
15	13,0	19,1	5,76	5,21	21,88	34,26	15	6,1	16,4	5,63	5,16	6,0	27,9
20	10,1	16,1	5,81	5,37	15,09	43,29	20	4,6	16,2	5,62	5,17	4,8	29,6
25	8,7	14,8	5,83	5,49	11,73	49,49							
30	7,3	14,2	5,82	5,26	9,16	50,49							
35	5,4	13,4	5,76	5,16	6,07	41,40							
40	4,8	13,1	5,72	5,38	5,03	36,85							
45	3,7	12,7	5,62	5,30	3,44	28,20							
<i>III уровень деминерализации</i>													
0	2,4	16,5	5,64	3,44	34,87	2,63	0	2,9	16,3	5,63	8,12	24,9	0,39
5	4,9	13,0	5,65	5,05	32,52	5,47	5	7,6	13,8	5,72	3,00	20,8	8,26
10	8,7	12,9	5,67	5,06	29,63	10,68	10	8,2	12,7	5,78	4,38	15,8	14,2
15	10,3	12,9	5,71	5,13	19,96	24,11	15	7,0	11,6	5,83	5,20	10,5	23,3
20	10,1	12,9	5,74	5,16	20,05	25,88	20	5,9	11,0	5,85	4,62	7,92	27,36
25	9,1	12,9	5,76	5,30	16,26	23,96	25	5,1	10,7	5,84	5,15	6,18	30,58
30	7,5	12,9	5,78	5,06	11,87	22,91	30	4,3	10,4	5,80	5,49	4,50	33,51
35	6,0	12,6	5,78	5,43	8,77	22,58	35	3,5	10,2	5,71	5,29	3,12	35,77
40	5,0	12,5	5,75	5,24	6,91	23,04	40	3,0	10,7	5,60	4,94	2,19	37,01
45	4,1	12,4	5,70	5,18	5,08	20,27	45	2,6	11,1	5,44	5,33	1,54	38,24
50	3,4	12,3	5,63	5,22	3,84	18,71	50	2,1	11,3	5,28	5,48	1,09	39,25
55	3,0	12,3	5,56	5,11	2,98	17,39							
60	2,5	12,3	5,77	4,60	2,19	15,81							
65	2,1	12,3	5,37	5,00	2,17	14,88							

В ходе процесса электродиализа наблюдалось существенное снижение массы продукта, которое можно объяснить не только переносом диссоциирующих веществ – солей, молочной кислоты, но и частичным переносом воды. Так как мембрана является проницаемой для воды, под действием сил осмотического давления происходит ее перенос из среды с меньшим содержанием солей в среду с большим. В начальный период вода переходит из концентрата в дилюат (продукт), а в завершающий период вода снова уходит в концентрат. Как правило, количество воды, в итоге перешедшей в концентрат, выше. Процесс выражен более ярко при высоких концентрациях солей и длительном времени обработки.

Анализ динамики изменения силы тока, основного параметра, характеризующего скорость процесса, показывает, что средняя сила тока в целом по процессу выше у образца с более высокой начальной проводимостью. В нашем случае – образец №1. Теоретически пиковое значение силы тока достигается в момент достижения равенства проводимостей продукта и концентрата. Общее сопротивление цепи при этом стремится к минимуму. В реальных условиях, с учетом неизбежного снижения пропускной способности мембран вследствие загрязнения, максимум силы тока достигается несколько раньше.

В частном случае монораствора количество перенесенного в ходе процесса электродиализа вещества [43, 61, 84] в конкретный промежуток времени определяется следующим образом:

$$dm = k(t)I(t)dt, \quad (4.1),$$

где dm – масса вещества, перенесенного из продукта в концентрат в единицу времени; тут $k(t) = \mu(t)/(zF)$, $\mu(t)$ – эквивалентная молекулярная масса переносимого вещества, зависит от фазы процесса, кг/моль; z – электрохимическая валентность катиона (аниона); F – постоянная Фарадея 96485 Кл/моль; $I(t)$ – функция, определяющая зависимость изменения силы тока, протекающего в установке, от времени, А (Кл/с); dt – время, с.

В нашем случае отношение молекулярной массы и электрохимической валентности диссоциированных частиц является обобщающей характеристикой продукта, выражающей среднее значение многих компонентов и зависящей не только от минеральной составляющей продукта. Существенное влияние оказывают органические кислоты, наличие которых неизбежно в молочных продуктах. Основную роль в «органической» составляющей проводимости играет молочная кислота и ее соединения.

Но такой вид выражение (3.2.2) будет иметь в идеальных условиях. В реальности некоторая часть тока будет обеспечена иными носителями заряда (электронами, протонами, гидроксильными группами и др.). Кроме этого, отличие степени диссоциации у различных соединений приведет к неравномерному их переносу через мембрану. Таким образом, средняя молекулярная масса и электрохимическая валентность удаляемой составляющей продукта будут изменяться в ходе процесса. Прямым подтверждением различной скорости трансмембранного переноса ионов является тот факт, что относительное содержание молочной кислоты к минеральной составляющей продукта в начале процесса составляло 0,17-0,20, а в конце процесса – 0,22-0,27. С увеличением времени обработки эта разница увеличивается, что свидетельствует о несколько меньшей скорости переноса ионов молочной кислоты, чем средняя скорость трансмембранного переноса диссоциированных веществ. Вместе с тем, изменение незначительное, и для практических расчетов можно принимать значение коэффициента постоянным и зависящим только от состава исходного продукта.

Полученные в результате экспериментов данные позволили рассчитать среднее по процессу значение массозарядного коэффициента: образец №1 – 16,4; 21,7; 22,8 мг/Кл; образец №2 – 14,0; 19,5; 23,1 мг/Кл для 1-го, 2-го и 3-го уровня соответственно.

После завершения процесса электродиализа в продукте и в концентрате солей определяли изменения уровней активной кислотности рН, титруемой кислотности, массовой доли сухих веществ. Условную степень деминерализации (УСД) рассчитывали по относительному снижению проводимости жидкостей, которая зависит не только от минеральной составляющей, но и от количества удаляемой молочной кислоты. Условная степень деминерализации в процентах является косвенным показателем и служит для контроля течения процесса. Фактическая степень деминерализации (ФСД) рассчитывается исходя из снижения зольности в продукте (таблица 4.19). Сушку полученных жидких образцов мелассы деминерализованной и исходного сырья (в качестве контроля) проводили на лабораторной сушилке распылительного типа Я23-ОСУ.

Таблица 4.19 – Физико-химические показатели жидкой деминерализованной мелассы / концентрата солей

Показатель	Степень деминерализации мелассы					
	1-я		2-я		3-я	
	Меласса	Концентрат	Меласса	Концентрат	Меласса	Концентрат
<i>Образец №1</i>						
Активная кислотность, ед. рН	6,01±0,12	5,25±0,23	5,62±0,12	5,3±0,27	5,37±0,15	5,0±0,24
Титруемая кислотность, °Т	43±3	49±5	26±2	54±6	20±3	30±5
Массовая доля сухих веществ, %	15,8±0,4	4,5±0,9	16,4±0,5	3,0±0,5	16,0±0,4	1,8±0,4
УСД, %	74	–	90	–	94	–
<i>Образец №2</i>						
Активная кислотность, ед. рН	5,64±0,09	4,78±0,13	5,62±0,11	4,7±0,16	5,28±0,10	4,71±0,18
Титруемая кислотность, °Т	55±4	37±4	40±3	74±7	13±2	82±11
Массовая доля сухих веществ, %	16,4±0,3	3,8±0,8	16,3±0,4	4,2±0,6	15,0±0,4	4,2±0,5
УСД, %	62	–	78	–	96	–

В ходе сушки недеминерализованной мелассы отмечено существенное налипание продукта на стенки башни и воздухопроводы. Продукт слабосыпучий, образовывались комочки, которые легко рассыпались, вкус горько-соленый. Деминерализованный сухой продукт – плотный, сыпучий, светло-кремового цвета, запах и вкус ближе к сухому обезжиренному молоку, чем к сыворотке (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Физико-химические показатели сухой мелассы, %

Показатель	Меласса натуральная	Степень деминерализации мелассы		
		1-я	2-я	3-я
<i>Образец №1</i>				
Влага, %	4,77±0,14	3,04±0,12	2,69±0,09	2,59±0,11
Белок, %	6,04±0,12	5,76±0,17	5,42±0,16	5,37±0,14
Лактоза, %	67,5±3,7	82,0±4,8	86,7±4,2	87,9±4,9
Зола, %	21,7±1,6	9,22±0,87	5,23±0,41	4,13±0,37
ФСД	—	57,5	75,9	80,9
Индекс растворимости	0,10±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01
<i>Образец №2</i>				
Влага, %	2,43±0,09	2,81±0,11	2,79±0,09	2,55±0,08
Белок, %	5,63±0,11	5,76±0,15	5,72±0,13	5,04±0,09
Лактоза, %	75,7±4,2	77,8±3,8	83,0±3,8	89,5±4,3
Зола, %	16,2±1,2	13,7±1,4	8,5±0,07	2,9±0,02
ФСД*	—	15,4	47,5	82,1

В ходе проведенных научных исследований получен ряд практических и теоретических результатов. Установлено, что максимальная сила тока, а значит и производительность процесса, достигается при равенстве проводимостей продукта и концентрата. Выявлено, что существенную роль в процессе электродиализа мелассы играют органические соединения, прежде всего молочная кислота. Определено, что в зависимости от глубины проведения деминерализации процентное содержание молочной кислоты в перенесенных веществах для образца №1 составило 12-14 %, для образца №2 – 13-16 %. Скорость массового переноса определяется составом обрабатываемого продукта и средней силой тока по процессу.

ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. Разработаны технологии производства напитков, паст, муссов, желе, при производстве которых в качестве основного сырья используется молочная сыворотка. При изготовлении напитков признано целесообразным изготовление продукта с содержанием сухих веществ сыворотки 7,5-10,0%. Для предотвращения расслоения целесообразно применение стабилизирующих добавок. При изготовлении паст установлен предельный уровень замены молочного жира на комбинацию растительных масел 60 %, превышение которого приводит к изменению органолептических показателей. При изготовлении муссов предел внесения сухих веществ сыворотки установлен в 15 %, его превышение приводит к появлению ярко выраженного привкуса.

При проведении исследований по созданию рецептур желе были проработаны оптимальные концентрации всех компонентов, установлены оптимальные дозы их внесения: сыворотка сухая – до 10 %; кислота лимонная – 0,07-0,10 %; фруктовые порошки – 1,0-1,5 %; пищевые красители (понсо, тартразин) – 0,001-0,003 %; пищевые ароматизаторы, идентичные натуральным (апельсин, малина, абрикос, вишня, лимон) – 0,03-0,07 %; стабилизаторы: камедь рожкового дерева – 1,5-2,0 %, желатин – 1,8-2,2 %.

2. Экспериментально установлено, что рациональной дозировкой сухих микропартикулированных белков при производстве мягких термокислотных сыров из обезжиренного молока является 2 % от массы молока при температуре пастеризации 92 °С. Выявлено, что температура пастеризации подготовленной смеси является важным технологическим фактором, который определяет качественные показатели готового продукта, рациональной температурой пастеризации при производстве творога с использованием микропартикулированных белков является 85 °С с выдержкой 10 с. При этом творог, выработанный с использованием микропартикулированных белков, имеет более низкое значение титруемой кислотности при сохранении уровня рН, характерного для стандартного творога. Это

можно объяснить высокими буферными свойствами микропартикулированных белков.

Показано, что для большинства видов микропартикулированных белков рациональной дозировкой при производстве обезжиренного творога является 1-2 % от массы молока. Вместе с тем, для отдельных продуктов допустимо его внесение в количестве до 3 %. Дозировка в каждом конкретном случае уточняется в указанных пределах, исходя из целевых технико-экономических показателей конечного продукта.

Установлено, что использование микропартикулированных сывороточных белков целесообразно при производстве обезжиренных и низкожирных сыров, поскольку при использовании микропартикулятов для производства более жирных сыров (с массовой долей жира в сухом веществе выше 30 %) вкус продукта несколько ухудшается и становится водянистым. Использование микропартикулированных сывороточных белков для производства плавленых сыров и сырных продуктов нецелесообразно.

3. Определен биохимический состав КСБ-УФ-80, установлено, что соотношение незаменимых и заменимых аминокислот составляет 0,47:0,53, содержание ненасыщенных жирных кислот, г/100 г: липидов $75,8 \pm 0,8$, мононенасыщенных жирных кислот $20,5 \pm 0,5$, полиненасыщенных жирных кислот $3,7 \pm 0,27$, соотношение ПНЖК:МНЖК:НЖК 1,0:5,5:20,5. Установлено, что основными компонентами минеральной составляющей КСБ-УФ-80 (зольностью 2 %) являются: фосфор ($205,0 \pm 1,9$ мг/100 г), кальций ($191,8 \pm 1,2$ мг/100 г), калий ($94,1 \pm 0,9$ мг/100 г), магний ($47,6 \pm 1,0$ мг/100 г), натрий ($34,4 \pm 0,7$ мг/100 г).

4. Выявлено, что существенную роль в процессе электродиализа мелассы играют органические соединения, прежде всего молочная кислота. Определены коэффициенты массозарядного переноса для мелассы в зависимости от глубины процесса: образец №1 – 16,4; 21,7; 22,8 мг/Кл; образец №2 – 14,0; 19,5; 23,1 мг/Кл для 1-го, 2-го и 3-го уровня соответственно, что позволяет оценить количество электричества, необходимое для деминерализации мелассы.

Глава 5 ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГРУППЫ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ

5.1 Сыворожка обогащенная лактатами

Наличие значительного количества молочной кислоты в сухом веществе (для творожной или молочнокислотной казеиновой сыворотки), которая в нормальных условиях находится в жидком состоянии, а в процессе сгущения и сушки практически не испаряется, делает производство сухой молочнокислой сыворотки технологически сложным, а порой и невозможным. Наши исследования показали (таблица 5.1), что количество молочной кислоты по отношению к общему сухому веществу сыворотки составляет 8-12 %. Установлено, что непосредственно на выходе из линии титруемая кислотность казеиновой сыворотки составляет 48-58 °Т, но высокая обсемененность молочнокислыми бактериями и отсутствие пастеризации и/или эффективного охлаждения в короткие сроки приводит к нарастанию кислотности до уровня 75-85 °Т. Это обуславливает резкий рост содержания молочной кислоты в продукте и, как следствие, уменьшение количества лактозы. Ценность такого продукта значительно снижается, а сложность переработки растет.

Выделены три принципиальных подхода к переработке кислой сыворотки [14, 15, 82, 85, 123, 130-132, 154, 175, 194, 246-248], которые прошли апробацию в лабораторных и производственных условиях:

Первый – переработка кислой сыворотки «как есть». В ходе исследований установлено, что при должном подходе к очистке от белковой пыли и жира не возникает особых сложностей при ее нанофильтрации и сгущении. Особенности работы полимерных мембран при низких уровнях рН приводят к незначительному росту производительности установок, а тот факт, что фосфат кальция не выделяется при низком значении рН, исключает проблемы, связанные с его возможным выделением в осадок как при переработке подсырной сыворотки.

Таблица 5.1 – Состав сыворотки для обработки технологии (средние значения)

Показатель	Сыворотка								
	творожная			казеиновая			подсырная		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Массовая доля сухих веществ, %	5,52	16,9	0,85	5,15	16,7	0,8	5,9	18,0	0,9
Массовая доля золы, %	0,73	1,37	0,40	0,68	1,77	0,40	0,64	1,33	0,30
в пересчете на сухое вещество, %	13,2	8,11	47,1	13,2	10,6	50,0	10,8	7,39	33,3
Массовая доля жира, %	0,05	0,12	н/д	0	0	н/д	0,3	0,7	н/д
Массовая доля белка, %	0,63	1,58	н/д	0,76	2,67	н/д	0,67	1,78	н/д
Массовая доля лактозы, %	4,54	13,4	н/д	3,24	10,92	н/д	4,98	14,28	н/д
Массовая доля небелкового азота, %	0,030	0,081	н/д	0,018	0,055	н/д	0,037	0,120	н/д
Активная кислотность, рН	4,5	4,6	н/д	4,0	4,08	н/д	6,28	6,18	н/д
Титруемая кислотность, °Т	58	142	н/д	76	191	н/д	14	38	н/д
Плотность, кг/м ³	1022	1075	н/д	1021	1070	н/д	1024	1075	н/д
Массовая доля фосфора, %	0,092	0,236	0,007	0,076	0,225	0,010	0,046	0,145	0,003
Содержание: кальция, мг/кг	489	1477	29	376	1756	38	177	503	24
магния, мг/кг	82,2	266	4,0	68,5	271	3,0	68	210	3,0
натрия, мг/кг	507	645	382	414	516	339	351	660	269
калия, мг/кг	1727	2036	1357	1468	2079	1488	1678	2736	1290

Примечание: 1 – исходная; 2 – концентрат нанофильтрации; 3 – фильтрат нанофильтрации

Однако при переработке кислой сыворотки существует ряд проблем, связанных с ее сушкой. Как уже отмечалось ранее, они обусловлены наличием большого количества свободной молочной кислоты в сухом продукте. Сухой порошок получается со значительным количеством несвязанной жидкой фазы. При количественном рассмотрении содержания молочной кислоты в продукте необходимо понимать, что уровень титруемой кислотности определяется также содержанием иных компонентов сыворотки. Так, наличие углекислоты добавляет 1-3 °Т (особенно характерно при наличии в закваске газообразующих микроорганизмов), цитратов – 1,0-1,5 °Т (сывороточные белки обеспечивают до 2 °Т, фосфаты – до 4 °Т), содержанием казеина в сыворотке можно пренебречь, учитывая только его низкомолекулярные фракции как дополнительный 1 °Т. Таким образом, базовая кислотность сыворотки находится в пределах 8-10 °Т [55, 216]. Все сверх того, как правило, определяется наличием молочной кислоты. Общую формулу процентного содержания молочной кислоты в продукте можно определить как

$$\text{Молочная кислота, \%} = (\text{Титруемая кислотность, } ^\circ\text{T} - 10 ^\circ\text{T}) \cdot 0,009 \quad (5.1)$$

Для упрощения расчета содержания титруемых компонентов по технологическому процессу при концентрировании (за исключением молочной кислоты и углекислого газа) их содержание считаем пропорционально коэффициенту концентрирования соответствующей технологической операции. Углекислый газ практически не концентрируется при нанофильтрации и почти полностью удаляется при вакуум-сгущении.

При сушке молочная кислота придает термопластичность продукту, т. е. при достижении критической температуры продукт становится липким из-за подплавления и частичной карамелизации. Требуется четкий контроль за соблюдением температурного режима отходящего воздуха в пределах 95 ± 1 °С, что соответствует остаточной влажности сухого продукта 1,0-1,5 %, а это значительно снижает КПД и скорость сушки. Теоретический диапазон температур, ограниченный требованием к предельному содержанию влаги снизу и проявлением термопластичности продукта сверху, в этом случае очень узкий, а зачастую его вообще нет. При этом возрастают потери, связанные с налипанием (вплоть до неприемлемых), в том числе и в циклоне. Требуется частая мойка оборудования, существует реальный риск полного забивания воздушных каналов сушилки.

Ситуация с казеиновой солянокислотной сывороткой несколько лучше. Соляная кислота более чем наполовину удаляется при нанофильтрации, а оставшаяся ее часть лучше связывается сухими веществами сыворотки и практически не вызывает проблем в процессе сушки при соблюдении условий обеспечения контроля температуры отходящего воздуха. В республике есть положительный опыт переработки такой сыворотки с последующим ее использованием на кормовые цели.

Второй – физическое удаление кислоты из сыворотки. Молочная кислота – относительно низкомолекулярное соединение ($C_3H_6O_3$, молекулярная масса 90 г/моль), размер молекул находится на границе разделения процесса нанофильтрации. Наши исследования показали, что ее частичное, на 20-25 %, удаление происходит при концентрировании на НФ-установках (таблица 5.2). Для большего снижения кислотности эффективно использование электродиализа, который наряду с удалением остатков молочной кислоты удаляет и диссоциированные анионы

и катионы солей. После первого этапа электродиализа (степень деминерализации 50 %) удельное содержание молочной кислоты снижается в 5 раз. В данном случае последующая технология сгущения кислых видов сыворотки совпадает с таковой для подсырной сыворотки, процесс кристаллизации из-за пониженного содержания солей идет более интенсивно и управляемо. Сушка не вызывает дополнительных проблем. В результате проведения более глубокой деминерализации получается продукт по физико-химическим и органолептическим показателям схожий с обычной сухой подсырной сывороткой соответствующей степени деминерализации, который может быть рекомендован к широкому применению на пищевые цели и не только в молочной промышленности.

Таблица 5.2 – Содержание молочной кислоты по ступеням обработки творожной сыворотки

Вид сыворотки	Сухие вещества в сыворотке, %	Зольность, %	Кислотность, °Т	Содержание молочной кислоты в жидкой фазе (методом титрования), %
Сыворотка творожная исходная	5,52±0,24	0,73±0,06 (13,2 % от СВ)	58±5	0,43±0,04 (7,8 % от СВ)
Сыворотка после нанофильтрации	16,9±0,46	1,37±0,11 (8,1 % от СВ)	142±7	1,04±0,06 (6,15 % от СВ)
Сыворотка Д 50 %	15,4±0,35	0,58±0,03 (3,7 % от СВ)	48±5	0,19±0,02 (1,24 % от СВ)
Сыворотка Д 70 %	14,9±0,28	0,32±0,01 (2,15 % от СВ)	37±4	0,06±0,01 (0,4 % от СВ)
Сыворотка Д 90 %	14,7±0,21	0,14±0,01 (0,96 % от СВ)	31±2	0,03±0,01 (0,27 % от СВ)

Данная эффективная технология снижения кислотности сыворотки и общей зольности продукта освоена на ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод» для подсырной сыворотки и на Полесском производственном участке ОАО «Милкавита» в г. Хойники для кислых видов сыворотки.

Третий – раскисление. В исследованиях использовались молочнокислотные виды сывороток. Первым этапом при отработке данной технологии является подбор раскисляющего агента. Для связывания кислоты использованы основания, оксиды или карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов.

В ходе раскисления получают лактаты щелочных или щелочноземельных

металлов. По классификатору пищевых добавок в системе CODEX ALIMENTARIUS лактаты являются добавками функционального назначения, содержащими в органической форме макроэлементы, обладающие антиоксидантными и эмульгирующими свойствами, хорошо растворимы в воде.

Определено, что технологически приемлемо проводить нейтрализацию после нанофильтрации, либо при подаче сгущенного продукта в емкости для кристаллизации путем организации грубой корректировки pH в потоке. Окончательно доведение уровня pH можно завершить во время кристаллизации при тщательном перемешивании. При этом необходим четкий контроль уровня pH продукта во избежание проблем с возможным выделением фосфата кальция, появлением мыльного вкуса, изменением цвета. Рекомендуемый нами уровень pH – от 5,8 до 6,4 ед., хотя Вагн Вестергаардом предложен несколько иной диапазон pH – 5,2-5,5 ед. [28]. Необходимо учесть, что кристаллизация раскисленной сыворотки происходит гораздо быстрее, и выдержка при низких температурах может привести к образованию плотной субстанции.

Нами были предложены формула и коэффициенты для практического определения количества раскисляющего агента. Раскисление осуществляют путем добавления раскислителей KOH, NaOH, Ca(OH)₂, CaO, Mg(OH)₂, MgO, CaCO₃, Na₂CO₃, MgCO₃, NaHCO₃, K₂CO₃ и т.д. до требуемого уровня pH (рекомендуемый не более 6,4). В ходе исследований по подбору рационального агента для корректировки pH кислой сыворотки были опробованы различные раскислители и их сочетания (рисунок 5.2).

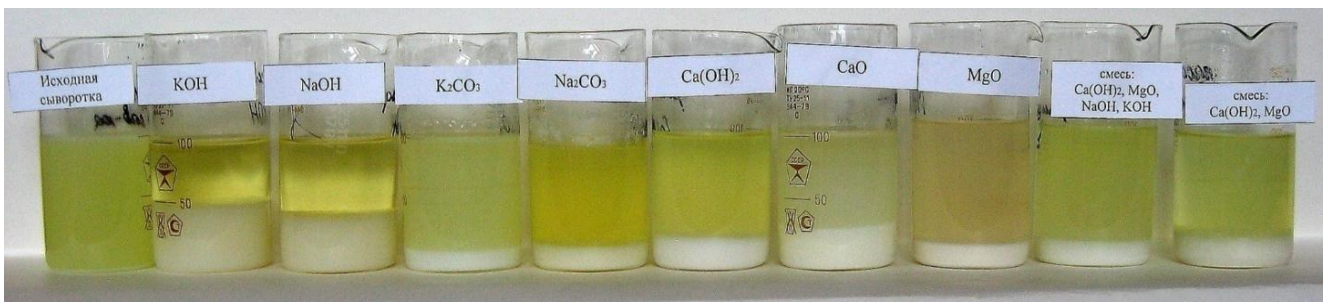


Рисунок 5.2 – Внешний вид сыворотки после раскисления (корректировки pH)

Массу раскислителя, необходимую для раскисления сыворотки, определяют по формуле:

$$m_{\text{раскислителя}} = M_{\text{сыв}} \times (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}) \frac{K_p}{100} \quad (5.2)$$

где $m_{\text{раскислителя}}$ – масса раскисляющего вещества в г; $M_{\text{сыв}}$ – масса исходной сыворотки, кг; $T_{\text{н}}$ – кислотность исходной сыворотки, °Т; $T_{\text{к}}$ – кислотность, до которой необходимо раскислить сыворотку, °Т; $\frac{K_p}{100}$ – масса раскислителя, необходимая для снижения кислотности 1 кг сыворотки на 1 °Т, г/(кг · °Т).

Приведенные коэффициенты (таблица 5.3) показывают эффективность раскислителя: чем ниже коэффициент, тем меньше требуется соответствующего вещества. Апробация формулы в производственных условиях показала достаточную для практического ее применения точность. Коэффициент K_p принят такой разрядности для удобства вычислений, масса раскисляющего вещества принята в граммах (внесистемная единица) для удобства пользования результатами расчетов. Для перевода в килограммы, полученный по формуле 5.2 результат необходимо разделить на 1000.

Таблица 5.3 – Коэффициент эффективности раскислителя

Раскислитель	Значение K_p	Раскислитель	Значение K_p
КОН	5,6	СаО	2,8
К ₂ СО ₃ ,	6,9	Са(ОН) ₂	3,7
NaOH	4,0	СаСО ₃	5,0
NaHCO ₃ ,	8,4	MgO	2,0
Na ₂ CO ₃ ,	5,3	Mg(OH) ₂	2,9
MgCO ₃ ,	4,2		

Вариант переработки кислой сыворотки зависит от технологических возможностей предприятия и назначения получаемого продукта. Первый путь эффективен при переработке казеиновой солянокислотной сывороткой с получением продукта на кормовые цели. Сушка молочнокислотной сыворотки (творожной, казеиновой молочнокислотной) после нейтрализации позволяет получать качественный продукт кормового назначения, обогащенный макроэлементами в доступной органической форме.

5.2 Сывороочно-жировые концентраты

Основным жиросодержащим компонентом для производства заменителей молока являются сывороочно-жировые концентраты. Их доля в составе отечественных рецептур ЗЦМ в виде комплексных белково-жировых компонентов по массе достигает 50-80 %, а по стоимости – до 70-90 %. Нами была поставлена задача – разработать технологические основы производства жирового концентрата для ЗЦМ из молочной сыворотки любых видов (рисунок 5.3) с целью импортозамещения.

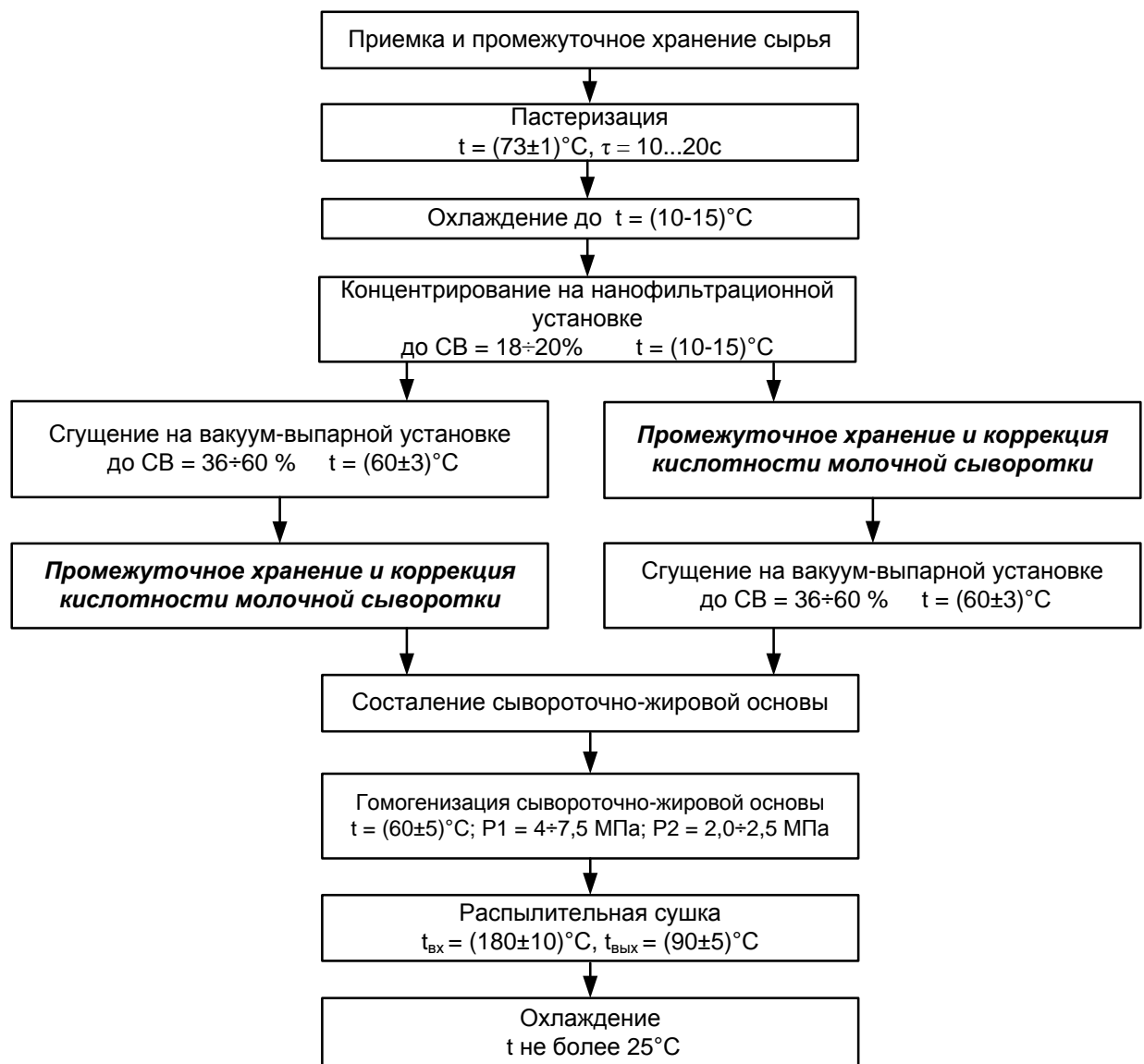


Рисунок 5.3 – Блок-схема производства жирового концентрата

Основой сывороточно-жирового концентрата в наших исследованиях служила смесь различных видов молочной сыворотки и являлась самой сложной для переработки, так как обладает значительной вариативностью состава. Базовым процессом при переработке молочной сыворотки в сывороточно-жировой концентрат является нанофильтрация. Помимо концентрирования сыворотки перед ее транспортировкой к месту переработки этот процесс позволяет значительно снизить количество молочной кислоты в сырье, а также замедлить микробные процессы за счет снижения активности воды в концентрате, тем самым снизив проблему нарастания кислотности в необработанном сырье за время транспортировки и хранения до переработки. В этой связи задачей первой части исследований явилось определение параметров процесса нанофильтрации и физико-химических свойств концентрата всего спектра сырья, предполагаемого к переработке (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Физико-химические свойства различных видов сывороток, их нанофильтрационных концентратов и фильтратов (средние значения)

Показатель	Творожная			Подсырная			Казеиновая		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Титруемая кислотность, °Т	53	142	—	19	68	—	73	191	—
Активная кислотность, рН	4,76	4,60	—	5,77	5,45	—	3,98	4,08	—
Удельная электропроводность, мСм/см	8,23	10,63	9,13	6,89	7,92	6,05	7,50	10,40	6,81
Плотность, кг/м ³	1024	1075	—	1024	1075	—	1021	1070	—
Массовая доля сухих веществ, %, в том числе:	5,7	16,9	1,1	5,9	18,0	0,3	5,0	16,7	0,8
лактозы	4,80	13,8	—	4,98	14,3	—	3,21	10,9	—
общего белка	0,50	1,58	—	0,63	1,78	—	0,78	2,67	—
небелкового азота	0,031	0,081	—	0,037	0,120	—	0,021	0,055	—
жира	0	0	—	0,3	0,3	—	0	0	—
золы	0,75	1,37	0,76	0,64	1,33	0,3	0,66	1,77	0,40
казеина	0,04	0,17	—	0,10	0,11	—	0,20	0,63	—
Массовая доля общего фосфора, %	0,078	0,236	0,059	0,046	0,145	0,0028	0,080	0,225	0,0098
Содержание макроэлементов, мг/кг:									
кальция	361	1277	86	177	503	24	391	1356	37,5
натрия	460	645	432	351	660	269	337	516	339
калия	1379	1406	1036	1678	2736	1290	1430	2079	1488
магния	85	266	6,7	67,7	210	3,3	77	271	3,0

Примечание: 1 – исходная; 2 – концентрат нанофильтрации; 3 – фильтрат нанофильтрации

Установлено, при проведении процесса нанофильтрации важным моментом является изменение производительности мембранной установки в ходе процесса. Давление в контуре фильтрации в ходе опытов поддерживалось на уровне 18,5 МПа на входе в фильтровальный модуль, 17,5 МПа на выходе (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Параметры процесса нанофильтрации сыворотки при периодическом процессе концентрирования

Время, мин	Расход фильтрата, дм ³ /ч		
	Творожная	Подсырная	Казеиновая
0	144,3±11,9	146,8±13,4	135,2±10,8
10	132,5±10,1	128,5±12,9	114,5±9,9
20	99,9±8,6	92,9±9,7	93,4±8,9
30	77,4±7,4	75,4±8,3	74,8±8,1
40	62,4±6,8	63,4±7,6	46,1±5,6
50	37,1±5,6	35,1±5,4	33,0±4,8
60	15,7±3,8	13,7±4,1	11,2±3,5
70	12,3±2,9	11,3±3,4	8,6±1,8
Среднее снижение производительности	11,7	12,9	15,7

Процесс сгущения на вакуум-выпарной установке. В ходе исследований после процесса нанофильтрации концентрированная молочная сыворотка подавалась в вакуум-выпарную установку, где сгущалась до содержания сухих веществ 35 %. Такая концентрация была выбрана с целью гарантированного отсутствия кристаллизации лактозы в продукте, что может вызвать проблемы при гомогенизации жировой композиции со сгущенной сывороткой на этапе получения эмульсии (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Полученные показатели сыворотки концентрированной сгущенной

Показатель	Сыворотка концентрированная сгущенная после вакуум-выпарного аппарата
Удельная электропроводность, мСм/см	13,4±0,9
Титруемая кислотность, °Т	389,0±43,0
Активная кислотность, рН. ед.	4,15±0,23
Плотность, кг/м ³	1162,0±13
Массовая доля сухих веществ, %	34,9±2,4
в том числе:	
лактозы	24,5±2,1
белка	6,87±0,41
жира	0,2±0,05
зола	3,46±0,23

Коррекция уровня рН сыворотки концентрированной сгущенной

Результаты 1-й экспериментальной выработки. В связи с тем, что сыворотка концентрированная сгущенная имеет высокую титруемую кислотность и низкую активную кислотность, необходимо ее раскисление. Для раскисления был выбран в качестве раскислителя 25%-ный раствор гидроокиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В результате процесса раскисления активная кислотность концентрированной сгущенной сыворотки составила рН 6,2. Отработан процесс раскисления перед сгущением на вакуум-выпарном аппарате. Исходные параметры концентрированной сыворотки после нанофльтрации представлены в таблице 5.7. После раскисления смесь подавали на вакуум-выпарной аппарат, а затем на сушку.

Таблица 5.7 – Полученные показатели концентрированной сыворотки после нанофльтрации

Показатель	Значение
Массовая доля сухих веществ, %	18,2±0,4
Активная кислотность, ед рН	4,14±0,16
Титруемая кислотность, °Т	172±7
Электропроводность, мСм/см	10,8±0,8

В ходе выработки был получен образец концентрата сывороточно-жирового сухого с физико-химическими показателями, представленными в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Показатели сухого сывороточно-жирового концентрата

Показатель	Раскислитель			
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	КОН	СаО	КОН: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 2:1
	1-я выработка	2-я выработка		3-я выработка
Массовая доля влаги, %	1,95±0,2	2,58±0,3	2,10±0,2	1,91±0,2
жира, %	36,0±1,4	34,0±1,1	34,0±1,8	35,0±1,3
лактозы, %	42,4±4,4	44,3±3,8	43,1±4,2	43,4±4,1
белка, %	7,2±0,4	9,5±0,7	9,0±0,6	7,0±0,5
зола, %	8,65±0,84	9,43±0,98	8,82±0,74	8,44±0,81
Содержание макроэлементов, г/кг:				
кальция	15,1±1,6	5,39±0,49	14,1±1,3	8,91±0,91
натрия	2,85±0,31	2,53±0,34	2,30±0,26	2,60±0,29
калия	9,79±1,06	29,9±2,8	7,68±0,84	17,9±1,9
магния	0,856±0,096	0,65±0,07	0,63±0,07	0,62±0,06

В целом технологический процесс во второй экспериментальной выработке осуществлялся аналогично первой. Для проведения раскисления было отобрано три образца сыворотки сгущенной концентрированной. В качестве раскислителей использовались 15%-ные растворы следующих соединений: окиси магния MgO; гидроокиси калия KOH; окиси кальция CaO.

В результате раскисления было отмечено, что при внесении в образец № 1 сыворотки в качестве раскислителя окиси магния MgO, наблюдалось выпадение осадка, что является недопустимым. Данный раскислитель для дальнейших испытаний не использовался.

В результате процесса раскисления образца № 2 гидроокисью калия KOH были получены следующие показатели сыворотки концентрированной сгущенной: титруемая кислотность – 27 °Т; активная кислотность – 6,7 ед. pH.

В результате процесса раскисления образца № 3 окисью кальция CaO были получены следующие показатели сыворотки концентрированной сгущенной: титруемая кислотность – 20 °Т; активная кислотность – 6,8 ед. pH.

В ходе эксперимента было установлено, что раскислители KOH и CaO могут применяться в производстве сывороточно-жировых концентратов и обеспечивают получение продукта высокого качества.

Вместе с тем, требуемое количество KOH в качестве раскислителя значительно (в 3 раза) повышает содержание калия в продукте (таблица 5.9), что не всегда допустимо по зооветеринарным требованиям, так как высокая концентрация этого вещества в крови животного может привести к неблагоприятным изменениям процессов в сердце.

Результаты третьей экспериментальной выработки. Опыт проводился аналогично первой выработке. Отличием является проведение этапа раскисления, составления сывороточно-жировой основы. На этапе раскисления в качестве раскислителя использовался 15%-ный раствор смеси калия гидроокиси KOH и кальция гидроокиси Ca(OH)₂ в соотношении 2:1 (таблица 5.9).

Составление эмульсии и гомогенизация сывороточно-жировой основы. В

процессе составления сывороточно-жировой основы в качестве компонентов использовали пальмовое и кокосовое масла в соотношении (4:1), соль плавитель – триполифосфат 0,6 % от массовой доли сухих веществ сыворотки, эмульгаторы – моноглицериды дистиллированные в количестве 3 % от массы сывороточно-жировой смеси. Твердые жиры загружали в подогреваемую емкость, где расплавляли при температуре (67 ± 2) °С при непрерывном помешивании. В качестве эмульгирующе-стабилизирующей добавки использовали стабилизатор СТМ – 0,13 % от массы сыворотки и эмульгатор Dimodan – 0,02 % от массы сыворотки. Как показали результаты экспериментов, эмульгирующе-стабилизирующая добавка может быть внесена в сгущенную сывороточную основу двумя способами.

1-й способ. Навеску эмульгирующе-стабилизирующей добавки (1,3-1,5 кг/т сгущенной сывороточно-жировой основы) растворяли в 10-15 кг отобранной сгущенной и нагретой до 65-70 °С сывороточной основы в отдельной емкости. Полученный раствор вносили в основную массу сгущенного продукта, нагретого до температуры не менее 65 °С и выдерживали при ней до полного растворения.

2-й способ. Навеску эмульгирующе-стабилизирующей добавки (1,3-1,5 кг/т сгущенной сывороточно-жировой основы) растворяли в предварительно расплавленной жировой композиции при температуре не ниже 65 °С в соотношении 1:(3-4). Жировой раствор эмульгирующе-стабилизирующей добавки вносили далее в основную массу сгущенного продукта и диспергировали.

Растворение эмульгирующе-стабилизирующей добавки в основе молочного или сывороточного продукта желательно проводить при температуре 70-75 °С, но не выше 80-85 °С. Далее в емкость со сгущенной сывороткой при постоянном перемешивании вносили подготовленную смесь жировых эмульгирующе-стабилизирующих компонентов.

Для проведения испытаний применяли лабораторный гомогенизатор [25, 219, 227]. После процессов раскисления, сгущения и смешивания с жирами и эмульгирующе-стабилизирующими добавками полученная смесь подавалась в

гомогенизатор, где подвергалась процессу гомогенизации при температуре 57 ± 3 °С общим давлением 60 бар: 1-я ступень гомогенизации – 40 бар; 2-я ступень гомогенизации – 20 бар.

Сушка сывороточно-жирового концентрата. Сушку образцов сывороточно-жирового концентрата проводили на лабораторной сушилке распылительного типа Я23-ОСУ. При этом были установлены следующие режимы сушки: температура воздуха на входе в сушильную камеру – 180–190 °С; температура воздуха на выходе из сушильной камеры – 85 ± 2 °С.

Отработка в экспериментальных условиях основных операций позволила обоснованно разработать технологию производства концентратов с указанием рациональных режимов работы оборудования, порядка и объемов внесения функционально необходимых компонентов.

5.3 Заменители молока

Основа большинства из выпускаемых в настоящее время в Республике Беларусь видов ЗЦМ – концентрат для приготовления заменителей цельного молока, а именно, сухая жирная сыворотка, обогащенная растительными белками и витаминно-минеральным премиксом. Его содержание в различных видах кормовых смесей достигает 50-80 %. Производство концентрата в республике находится в стадии становления и сдерживается недостатком производственных мощностей по сушке. Производство же заменителей молока на основе этого компонента в нашей стране развивается динамично (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Динамика развития производства заменителей молока в Республике Беларусь (по оперативным данным МСХП Республики Беларусь)

Производство ЗЦМ, тыс. т	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	3,53	6,89	10,33	18,27	29,69	28,30	39,40	37,84	33,29	28,81	28,47	24,65

Цель этапа исследований – обоснование рецептурного состава новых видов ЗЦМ, разработка технологии их приготовления и изготовление опытных образцов оборудования для производства ЗЦМ методом сухого смешивания.

В рамках научно-технической программы Союзного государства в РУП «Институт мясо-молочной промышленности» разработаны технология и рецептуры на заменитель цельного молока, символично названный ЗЦМ «СОЮЗ». Для зоотехнической оценки кормового качества продукта проведено вскармливание молодняка крупного рогатого скота молочного периода заменителями цельного молока экспериментальных партий, изготовленных по разработанным рецептурам (таблица 5.10), что позволило определить влияние происхождения белка и его содержания в продукте на физиологическое развитие молодняка крупного рогатого скота.

Таблица 5.10 – Рецептурный состав ЗЦМ, кг на 1000 кг продукта, без учета потерь

Вид сырья	Заменители цельного молока			
	рецептура №1	рецептура №2	рецептура №3	рецептура №4
Сыворотка молочная сухая	220	150	175	200
Молоко сухое обезжиренное	0	0	125	90
Сухое цельное молоко	620	620	630	570
Концентрат сывороточно-белковый (КСБ-УФ-80)	0	0	30	100
Мука соевая обезжиренная дезодорированная	120	190	0	0
Премикс (норма внесения 4 %)	40	40	40	40
<i>Кормовая ценность 1 кг ЗЦМ:</i>				
Сырой протеин, не менее, г	210,0	260,0	210,0	260,0
Сырой жир, не менее, г	160,0	160,0	160,0	160,0
Углеводы, г	433,9	398,3	440,7	419,4
в том числе лактоза, г	404,9	331,8	440,7	419,4
Кормовые единицы	1,68	1,67	1,70	1,68
Обменная энергия, МДж	15,12	15,15	15,27	15,23

В ходе научных исследований были разработаны рецептуры экспериментальной партии ЗЦМ с содержанием жира 16 % и с добавлением (рецептуры №1 и №2) или без добавления (рецептуры №3 и №4) белка растительного происхождения, источником которого является соевая мука. Суммарная массовая доля растительного и молочного белка в рецептуре №1 составляет 21 %, в рецептуре №2 – 26 %. При этом в ЗЦМ с добавлением немолочного белка содержание соевой муки не должно превышать 35 %, массовая доля молочного белка в данных рецептурах одинакова, различается содержание немолочного белка. В рецептурах ЗЦМ, содержащих только белок молочного происхождения, массовая доля молочного белка составляет 21 % в рецептуре №3 и 26 % в рецептуре №4. Соотношение казеина к сывороточным белкам принимается равным 25:75, что способствует раннему развитию рубца и хорошим привесам теленка.

Изготовление ЗЦМ проводили по технологии сухого смешивания, которая реализуется последовательностью технологических операций:

- приемка, хранение сухих компонентов;
- подготовка сухих компонентов к смешиванию;
- дозирование и смешивание компонентов.

Вскармливание молодняка экспериментальными партиями ЗЦМ было проведено в СПФ «Заозерье» ОАО «Лепельский молочноконсервный комбинат». Для проведения испытаний было сформировано пять групп телок по 7 голов одного возраста (контрольная, опытные – I, II, III, IV) по принципу аналогов, с одинаковыми условиями содержания и кормления.

Перед скармливанием ЗЦМ восстанавливали в соотношении: 1 часть сухого продукта на 8 частей питьевой воды. Восстановление осуществляли следующим образом: в чистой емкости в половинном объеме питьевой воды с температурой 50–55 °С растворяли необходимое количество сухого ЗЦМ, затем добавляли оставшееся количество воды и смесь тщательно перемешивали. Температура восстановленного ЗЦМ перед скармливанием животным составляла 36-39 °С.

Соблюдалась постепенность замены цельного молока на восстановленный ЗЦМ, не допуская перерывов в его скармливании в соответствии с таблицей 5.11.

Таблица 5.11 – Схема замены цельного молока при скармливании

Показатель	I группа	II группа	III группа	IV группа
День приучения	1	2	3	4
Восстановленный ЗЦМ, %	20	40	60	80
Цельное молоко, %	80	60	40	20

Далее ЗЦМ использовали в соответствии с принятой в СПФ «Заозерье» схеме выпойки, заменяя 1 кг цельного молока на 1 кг восстановленного ЗЦМ. Научно-хозяйственный опыт был проведен по разработанной схеме (таблица 5.12).

Телкам контрольной группы выпаивали цельное молоко в количестве 3 кг два раза в день. Телкам I, II, III, IV опытных групп выпаивали восстановленный ЗЦМ рецептуры № 1, №2, №3, №4 соответственно по 3 кг два раза в день.

У телок контрольной и опытных групп определяли живую массу до начала испытаний и по истечении месяца испытаний, при этом учитывали также их физиологическое состояние. За период вскармливания телок в опытных и контрольной группах негативных физиологических проявлений не наблюдалось: животные имели удовлетворительное физиологическое состояние в соответствии с их возрастом.

Таблица 5.12 – Схема научно-хозяйственных опытов

Группа	Количество	Условия кормления в течение молочного периода	Продолжительность испытаний ЗЦМ, мес.
контрольная	7	Цельное молоко + комбикорм + сено + зеленые корма	1
опытная №1	7	ЗЦМ (рецептура 1) + комбикорм + сено+ зеленые корма	1
опытная №2	7	ЗЦМ (рецептура 2) + комбикорм + сено+ зеленые корма	1
опытная №3	7	ЗЦМ (рецептура 3) + комбикорм + сено+ зеленые корма	1
опытная №4	7	ЗЦМ (рецептура 4) + комбикорм + сено+ зеленые корма	1

Опыты по определению содержания белка в заменителе молока. В ходе опыта были отобраны пять групп телят: одна контрольная и четыре опытные. Контрольная группа выпаивалась цельным молоком, получаемым от коров-матерей, опытные группы выпаивали заменителями. I и II группы выпаивали продуктом на основе молочного сырья, за исключением жировой фазы, III и IV – с использованием до 35 % соевого компонента с содержанием белка в сухом веществе 48 %. В I и III группе в ЗЦМ содержание белка составляло 21 %, во II и IV – 26 %. Содержание жира в сухом веществе было на уровне 16 %. Установлено, что повышение в рецептуре ЗЦМ количества белка от 21 до 26 % позволило увеличить привесы телят на 2–5 %. Значимого влияния качественного состава белка при введении соевого компонента в количестве не более 35 % на привесы не обнаружено (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Результаты вскармливания телят ЗЦМ с разным количественным и качественным составом белка

Показатель	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа	IV опытная группа
Белок в сухом веществе, %	Цельное молоко	Только молочный белок		С растительным белком	
		21	26	21	26
Среднесуточные привесы за 90 дней, г/сут.	905±66	892±79	941±58	883±102	911±87

Опыты по определению рационального количества жира в составе сухого ЗЦМ для выращивания телят с двухнедельного возраста. В качестве контрольной

группы были выбраны телята, которым выпаивалось молоко. Первой опытной группе выпаивался ЗЦМ с содержанием жира в сухом веществе 14 %, белка – 26 %, у второй группы жира – 20 %, белка – 26 %. Заменители молока для первого периода вскармливания были полностью на молочной основе, за исключением жировой фракции, которая представляла смесь растительных жиров. Во второй период в состав кормовой смеси был включен соевый компонент в количестве 33–36 % с содержанием белка в сухом веществе 48 %. Выпойки производились два раза в сутки по 3 л. Прикорм у всех групп был одинаковый, доступ к воде свободный. Результаты эксперимента показали, что в целом заменители молока обеспечивают привесы не хуже, чем рационы на цельном молоке, а недостаток жира в ЗЦМ для телят младших возрастных групп приводит к некоторому снижению их среднесуточных привесов (таблица 5.14). Биохимический анализ крови показал, что к концу опыта у телят опытных групп количество гемоглобина увеличилось на 13,9-15,4 %, увеличилось содержание эритроцитов, содержание белка и его фракции во всех группах, а содержание лейкоцитов и билирубина снизилось во всех группах.

В результате проведенных исследований разработаны технологии базовых видов заменителей молока и подобраны основные компоненты для их производства: различные типы сухой сыворотки, в том числе и обогащенная лактатами; сухой молочно-сывороточный продукт; сухой продукт молочно-жировой; собственно заменители молока – молочный для телят первого возрастного периода, заменитель цельного молока для последующих периодов, заменитель обезжиренного молока. Производство данных продуктов широко освоено на молокоперерабатывающих предприятиях отрасли.

Таблица 5.14 – Результаты вскармливания телят ЗЦМ с разным содержанием жира в сухом веществе

Показатель	I группа (контрольная)	II группа (опытная)	III группа (опытная)
Живая масса, кг:			
в начале опыта	50,2±1,10	52,7 ±2,33	51,7 ±2,70
через 31 день опыта	80,8 ±3,84	79,5 ±8,57	87,8 ±12,12
через 61 дней опыта	106,3 ±2,70	107,5 ±2,99	117,8 ±5,21
Прирост массы:			
валовый (31 день), кг	30,7 ±3,85	25,8 ±3,60	36,2 ±6,72
в % к I группе	100,0	84,0	117,9
в % ко II группе	119,0	100,0	140,3
Валовый (61 день), кг	56,1 ±2,4	54,8 ±2,34	66,1 ±3,47
в % к I группе	100,0	97,7	117,8
в % ко II группе	102,4	100,0	120,6
Среднесуточный (31 день), г	989,2 ±123,96	833,7 ±116,02	1163,7 ±217,52
в % к I группе	100,0	84,3	117,6
в % ко II группе	118,7	100,0	139,6
Среднесуточный (61 день), г	921,0 ±40,46	900,0 ±38,82	1085,0 ±57,00
в % к I группе	100,0	97,8	117,8
в % ко II группе	102,3	100,0	120,6
Корм.ед. на 1 кг прироста:			
за 61 дней опыта	2,75	2,83	2,36
в % к I группе	100,0	102,8	86,0

5.4 Концентрат бактериальный сухой «Биомикс-вет» для ЗЦМ и других кормовых продуктов

Целью данной части работы являлась разработка технологии изготовления пробиотического концентрата бактериального сухого на основе лакто- и бифидобактерий и технологии производства заменителя цельного молока, предназначенного для молодняка крупного рогатого скота, с использованием бактериального концентрата [45, 62, 63, 99, 187, 289].

Подбор пробиотических культур лакто- и бифидобактерий для создания сухих бактериальных концентратов, предназначенных для профилактики и лечения дисбактериозов у молодняка крупного рогатого скота, проводился по основным производственно-ценным и ветеринарно-значимым свойствам штаммов, поддерживаемых в отделе биотехнологии РУП «Институт мясо-молочной промышленности».

Было исследовано 21 штамм лактобактерий, из них 6 штаммов вида *Lactobacillus acidophilus*, 2 штамма *Lactobacillus helveticus*, 6 штаммов *Lactobacillus plantarum* и 5 штаммов *Lactobacillus casei* и 6 штаммов бифидобактерий.

Отбор пробиотических культур лакто- и бифидобактерий в состав консорциума проводился в два этапа. **На первом этапе** отобранные культуры исследованы по основным производственно-ценным свойствам, необходимым для получения бактериального концентрата, **на втором** - изучены основные ветеринарно-значимые свойства (антагонистическая активность в отношении патогенной и условно-патогенной микрофлоры и устойчивость к применяемым в ветеринарии антибиотикам), определяющие пробиотическую ценность культур. Наряду с этим, проводились исследования по определению устойчивости лактобацилл и бифидобактерий к поваренной соли и желчи - как косвенному признаку приживаемости в кишечнике.

С целью получения бактериального концентрата лакто- и бифидобактерий с высоким содержанием жизнеспособных клеток были изучены *основные*

производственно-ценные свойства исследуемых штаммов: накопление биомассы (титр клеток, КОЕ/мл) и активная кислотность, а также предел кислотообразования в молоке. Свойства лактобацилл изучались при развитии культур в среде МРС, для бифидобактерий использовалась среда ПГС. Показатели определяются после культивирования в течение (16 ± 1) часов при инокуляции 1%-ом посевного материала. Предельная кислотность определялась при выращивании культур в стерильном обезжиренном молоке.

Для штаммов *Lactobacillus acidophilus* титр в пределах $8,5 \cdot 10^8 - 2,0 \cdot 10^9$, предельная активная кислотность 4,3-4,6, титруемая – 309-390 °Т. Для штаммов *Lactobacillus casei* титр в пределах $3,0 \cdot 10^8 - 5,0 \cdot 10^8$, предельная активная кислотность 4,6-4,8, титруемая – 146-160 °Т. Для штаммов *Lactobacillus plantarum* титр в пределах $8,0 \cdot 10^8 - 2,0 \cdot 10^9$, предельная активная кислотность 4,5-4,8, титруемая – 148-161 °Т. Для штаммов *Bifidobacterium ssp.* титр в пределах $1,5 \cdot 10^9 - 2,0 \cdot 10^9$, предельная активная кислотность 4,5-4,6, титруемая – 90-121 °Т. Один штамм был исключен из дальнейшей работы по показателю титр – он был ниже восьмой степени.

Изучение основных **ветеринарно-значимых свойств** проводили по следующим показателям:

- устойчивость лактобацилл и бифидобактерий к поваренной соли и желчи – как косвенные признаки приживаемости в кишечнике;
- устойчивость к антибиотикам;
- антагонизм к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам.

Устойчивость лактобацилл и бифидобактерий к поваренной соли и желчи определяли путем выращивания культур в питательной среде, содержащей необходимую концентрацию вещества, при оптимальной для данного вида температуре. Установлено, что все выбранные штаммы были устойчивы к 20 % желчи. Все штаммы *Lactobacillus casei* и *Lactobacillus plantarum* устойчивы к содержанию в среде 6 % поваренной соли, все исследованные штаммы *Bifidobacterium ssp.* и *Lactobacillus acidophilus*, кроме одного (исключен из дальнейших исследований), устойчивы к 4 % раствору поваренной соли.

Устойчивость к антибиотикам определяли дисковым методом. По величине зоны задержки роста судили о степени чувствительности культуры к данному антибиотику. Принято, что штаммы, у которых зона задержки роста составляет менее 15 мм, являются резистентными к данному антибиотику, зона задержки роста 15–25 мм – слабая чувствительность, больше 25 мм – сильная чувствительность. Были проведены исследования по 24 видам антибиотиков.

Определение антагонистической активности лактобацилл и бифидобактерий в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов проводилось в РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. Вышелесского». Все исследованные культуры проверяли на антагонистическую активность в отношении *Klebsiella*, *Escherihia*, *Proteus*. Антагонистическую активность определяли” чашечным методом” по зонам задержки роста тест-культуры. На основе результатов анализ *антагонистической активности* с учетом максимальной урожайности клеток при развитии в питательной среде были выбраны штаммы бактерий каждого вида для включения в состав консорциума для получения бактериального концентрата пробиотического действия, предназначенного для обогащения ЗЦМ.

Таким образом, для достижения этой цели решено в состав концентрата вводить несколько штаммов разных видов бактерий родов *Lactobacillus* (виды *acidophilus*, *plantarum*, *casei*) и *Bifidobacterium ssp.*

Следующий этап работы – определение *пробиотической дозы*, т.е. минимального количества жизнеспособных клеток лакто- и бифидобактерий, которое необходимо потреблять с кормом одному теленку в день для проявления, выраженного пробиотического эффекта. С этой целью РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» было проведено опытное вскармливание телят, которые в течение 2-х месяцев получали с кормом определенное количество бактериального концентрата лакто- и бифидобактерий. Было решено для вскармливания организовать 4 группы телят по 10 голов. Телята первой группы потребляли с кормом 2 раза в день по 1×10^6 жизнеспособных клеток лактобацилл и 1×10^6 бифидобактерий, телята второй группы – по 1×10^7

жизнеспособных клеток лактобацилл и 1×10^7 бифидобактерий, телята третьей группы – по 1×10^8 жизнеспособных клеток лактобацилл и 1×10^8 бифидобактерий, четвертая группа – контрольная. В ходе вскармливания получены данные, свидетельствующие о том, что ярко выраженный пробиотический эффект наблюдался у третьей группы телят, потреблявшей с кормом 2 раза в день по 1×10^8 жизнеспособных клеток лактобацилл и 1×10^8 бифидобактерий. Учитывая режим хранения ЗЦМ (4 месяца при температуре не выше 25°C), было проведено исследование по определению выживаемости бактериальных культур в составе ЗЦМ в условиях хранения при комнатной температуре (таблица 5.15).

Таблица 5.15 – Микробиологические показатели сухого ЗЦМ в момент изготовления и через 6 месяцев хранения при комнатной температуре

Продолжительность хранения, мес.	Микробиологические показатели			
	Вариант 1		Вариант 2	
	Количество лактобацилл, КОЕ/г	Количество бифидобактерий, КОЕ/г	Количество лактобацилл, КОЕ/г	Количество бифидобактерий, КОЕ/г
0	$(1,1 \pm 0,2) \times 10^6$	$(1,2 \pm 0,1) \times 10^6$	$(1,1 \pm 0,3) \times 10^6$	$(1,3 \pm 0,2) \times 10^6$
1	$(9,6 \pm 1,4) \times 10^5$	$(9,8 \pm 0,9) \times 10^5$	$(1,0 \pm 0,7) \times 10^5$	$(9,3 \pm 0,5) \times 10^5$
2	$(9,3 \pm 3,4) \times 10^5$	$(9,0 \pm 1,4) \times 10^5$	$(9,0 \pm 0,9) \times 10^5$	$(9,1 \pm 0,6) \times 10^5$
3	$(7,4 \pm 3,3) \times 10^5$	$(6,4 \pm 2,6) \times 10^5$	$(8,4 \pm 1,5) \times 10^5$	$(8,4 \pm 1,1) \times 10^5$
4	$(5,0 \pm 3,9) \times 10^5$	$(5,2 \pm 3,1) \times 10^5$	$(6,2 \pm 2,4) \times 10^5$	$(6,8 \pm 1,8) \times 10^5$
5	$(4,5 \pm 2,5) \times 10^5$	$(4,0 \pm 2,6) \times 10^5$	$(5,0 \pm 2,9) \times 10^5$	$(4,5 \pm 2,1) \times 10^5$
6	$(3,0 \pm 3,1) \times 10^5$	$(2,5 \pm 1,8) \times 10^5$	$(4,0 \pm 2,3) \times 10^5$	$(3,0 \pm 1,6) \times 10^5$

На основании полученных результатов показано, что при смешивании бактериальный концентрат необходимо вводить в состав ЗЦМ в количестве, обеспечивающем содержание в 1 г сухого ЗЦМ лактобацилл, КОЕ, не менее $1,0 \times 10^6$ и бифидобактерий, КОЕ, на конец срока годности продукта. Разработаны и утверждены технические условия ТУ ВУ 100377914.575-2009 концентраты бактериальные сухие «БИОМИКС-ВЕТ», номер Государственной регистрации №028598, и технологическая инструкция ТИ ВУ 100377914.573-2009 по изготовлению концентратов бактериальных сухих «БИОМИКС-ВЕТ».

5.5 Кормовая добавка на основе побочного продукта микробиологического производства, полученного при производстве бактериальных заквасок

Производство бактериальных концентратов сопряжено с получением микробиальной барды. Это может быть фугат, в случае если концентрирование производится на бактофугах, или фильтрат, если концентрирование осуществляется методом мембранной фильтрации. Выход барды составляет около 90 % от объема культуральной жидкости, полученной в процессе культивирования. Исходя из результатов проведенных нами исследований она содержит протеины, свободные аминокислоты, широкий спектр витаминов группы В, макро и микроэлементов, а также живые клетки культивированной культуры (лакто- или бифидобактерий, пропионовокислых микроорганизмов) и может быть использована в рационах питания сельскохозяйственных животных, в частности свиней [16, 190, 265]. Рациональным способом ее переработки видится производство сухой или жидкой кормовой добавки. В связи с низким содержанием сухих веществ в исходной барде (до 11 %) на начальном этапе концентрирования целесообразным является использование мембранных методов концентрирования [12, 96, 109-112, 164, 182, 193, 203-211, 254, 255, 279].

Цель данного этапа работы – разработка технологии создания кормового продукта из микробиальной барды и оценка его кормовой и биологической ценности.

Исследования проводили на лабораторной НФ мембранной установке с рабочим давлением до 2,5 МПа. Концентрирование барды в ходе исследований осуществлялось на четырех дюймовом рулонном элементе с полисульфонным фильтрующим слоем паспортной селективностью 300 Да, поверхностью фильтрации 7,4 м², надмембранный поток рециркуляции был установлен 6,8 м³/ч, что обеспечивало рекомендуемый перепад давления до/после мембранного модуля 0,1 МПа. Объектом исследований были выбраны различные виды микробиальной барды, образующейся при культивировании микроорганизмов видов *Lactobacillus acidophilus*, *Propionibacterium*, *Lactobacillus bulgaricus* и заквасочных

комбинаций на основе микроорганизмов рода *Lactococcus*. Отделение биомассы микроорганизмов от питательной среды проводили на центрифуге ОТР-102К-01. Содержание сухих веществ в барде составило 6,7-11,0 %, содержание белка – от 3,7 до 3,9 %. Сгущение осуществлялось на лабораторной вакуум-выпарной установке циркуляционного типа с принудительной циркуляцией с испарением в падающей пленке. Сушка осуществлялась на лабораторной распылительной сушильной установке с пневматическим распылением продукта.

Для увеличения содержания сухих веществ применялось предварительное концентрирование путем нанофильтрации. Влияние надмембранного давления на скорость процесса изучали на барде, получаемой при выработке бактериальных концентратов на основе пропионовокислых бактерий и лактококков. После отделения биомассы пропионовокислых бактерий и биомассы лактококков от культуральной жидкости была получена барда с содержанием сухих веществ 10,4 и 10 % соответственно. Остаточное содержание жизнеспособных клеток *Propionibacterium* составило $2,4 \cdot 10^6$ КОЕ/см³, *Lactococcus* – $4,9 \cdot 10^7$ КОЕ/см³.

Эксперименты показали, что в исследуемом диапазоне изменения давления существует практически линейная зависимость удельной производительности от давления (таблица 5.16). Вместе с тем, процесс концентрирования при относительно низких давлениях достаточно быстро прекращается, не позволяя получить высокую концентрацию сухих веществ. Влияние механического загрязнения на этом этапе фильтрования незначительно. Определяющую роль играет относительный рост содержания низкомолекулярных соединений.

Таблица 5.16 – Зависимость скорости фильтрации барды от давления на входе в мембрану, дм³/(м²·ч)

Давление, МПа	Пропионовокислые бактерии			Лактококки		
	1	2	3	1	2	3
1,2	11,8±0,8	0,33±0,05	—	4,39±0,71	0,28±0,05	—
1,5	13,0±0,7	1,70±0,19	—	5,04±0,78	1,7±0,21	—
1,8	16,2±0,9	2,90±0,31	0,62±0,15	6,62±0,61	4,35±0,52	2,74±0,39
2,5	25,0±1,1	8,6±1,14	1,24±0,23	10,51±0,84	6,42±0,44	3,81±0,23

Примечание. 1 – начало процесса; 2 – середина процесса; 3 – окончание процесса.

Важным положительным моментом, характеризующим микробиальную барду как кормовую добавку, является достаточно большое количество остаточной пробиотической микрофлоры, которая, наряду с сохранившимися факторами роста бактерий, делает барду синбиотическим продуктом.

Определяющим параметром эффективности процесса является фактор концентрирования по целевому параметру. В связи с тем, что размер микроорганизмов – 0,3-6,0 мкм значительно больше пор – менее 0,02 мкм, разумно предположить наличие корреляции между ФК по объему и ФК по количеству микроорганизмов (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Содержание микроорганизмов в барде, фильтрате и концентрате

Вид микроорганизма	Количество микроорганизмов, КОЕ/см ³			ФК по объему	ФК по количеству микроорганизмов
	барда	фильтрат	концентрат		
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	$(6,8 \pm 8,1) \cdot 10^7$	$(2,5 \pm 2,3) \cdot 10^4$	$(2,8 \pm 4,2) \cdot 10^8$	2,8	4,1
<i>Propionibacterium</i>	$(2,4 \pm 2,9) \cdot 10^6$	$(2,1 \pm 1,5) \cdot 10^4$	$(2,1 \pm 3,4) \cdot 10^7$	3,3	8,8
<i>Lactococcus</i>	$(4,9 \pm 6,7) \cdot 10^7$	<1500	$(4,4 \pm 5,1) \cdot 10^8$	4,1	9,0
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	$(1,7 \pm 3,1) \cdot 10^3$	<100	$(1,0 \pm 2,2) \cdot 10^4$	3,9	5,9

Результаты экспериментов показали, что концентрирование по объему и по количеству микроорганизмов практически совпадает. Несколько больший уровень концентрирования по количеству микроорганизмов можно объяснить тем, что и при относительно низких температурах мембранного концентрирования (в наших опытах около 20 °С) продолжается рост бактерий, кроме того, интенсивное механическое воздействие приводит к дроблению агломератов бактерий, вызывая увеличение количества колониеобразующих единиц. Определено, что количество микроорганизмов, отходящих в фильтрат, на 2-5 порядков меньше количества микроорганизмов в концентрате. В принципе, если целью является получение наибольшего титра пробиотических бактерий, то при концентрировании барды нет необходимости в поддержании низких температур. Процесс целесообразно проводить при температуре культивирования. Это не только позволит увеличить количество биомассы в конечном продукте, но и существенно увеличит скорость процесса. Практически незначительное

увеличение осмотического давления раствора компенсируется снижением его вязкости.

В ходе опытов проведена сравнительная оценка технологических показателей концентрирования барды, получаемой при производстве бактериальных заквасок микроорганизмов различных таксономических групп (*Lactobacillus acidophilus*, *Propionibacterium*, *Lactobacillus bulgaricus* и заквасочных комбинаций на основе микроорганизмов рода *Lactococcus*). Основными показателями процесса концентрирования барды определены: выход концентрата, содержание массовой доли сухих веществ и производительность установки. Удельная скорость фильтрации по мере концентрирования уменьшалась примерно в три раза независимо от вида микроорганизмов (например, для ацидофильной палочки – с 12,2 до 4,1 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, лактококков – с 11,9 до 3,7 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и т.п.). Исключение составил процесс концентрирования барды пропионовокислых бактерий: скорость фильтрации по мере концентрирования уменьшилась с 16,2 до 0,6 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, т.е. в 27 раз. При этом исходное содержание сухих веществ в барде пропионовокислых бактерий было несколько выше, чем в барде ацидофильной или болгарской палочки (10,4; 9,4 и 8 % соответственно). Средняя скорость выхода фильтрата составила 7,2 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, кратность концентрирования или коэффициент уменьшения объема (отношение объема барды к объему полученного концентрата) – 2,4-4,1.

Установлено, что зависимости содержания сухих веществ в фильтрате и концентрируемом продукте от времени – линейные, причем скорость увеличения содержания сухих веществ в фильтрате прямо пропорциональна скорости увеличения содержания сухих веществ в концентрированном продукте. В ходе процесса разделения на мембранах наблюдается явление концентрационной поляризации, обусловленное тем, что скорость прохождения компонентов барды через мембрану различна. При этом в пограничном слое вблизи поверхности мембраны накапливаются вещества, имеющие наименьшую скорость проникания. В результате при разделении жидких смесей снижаются движущая сила процесса и производительность мембран. Кроме того, вероятно осаждение на мембране

солей с малой растворимостью, а также гелеобразование высокомолекулярных соединений, что снижает производительность установки по времени процесса и делает необходимым периодическую очистку мембран.

Исследование процесса сгущения на вакуум-выпарной установке. Основопологающим было определение предельных достижимых концентраций при сгущении. Для опытов были выбраны концентраты барды, получаемые при производстве бакконцентратов на основе микроорганизмов рода *Lactococcus* и *L. bulgaricus*. Процесс вели на лабораторной вакуум-выпарной установке при следующих режимных параметрах: давление – $(0,220 \pm 0,007)$ гПа, температура нагревающей воды – $(74,9 \pm 2,4)$ °С, температура сгущения – $(60,6 \pm 2,1)$ °С.

Опыты показали, что при сгущении концентрированной барды может быть получен продукт с содержанием сухих веществ до 59-65 %, при этом сохраняется ее циркуляция в аппарате. Отсутствует видимое выпадения осадка или кристаллов. Достигнутая кратность концентрирования для лактококков – 4,3, для болгарской палочки – 5,8. Технически вредных и условно-патогенных микроорганизмов в сгущенной барде не обнаружено, однако и выживаемость микроорганизмов незначительна (для лактококков – <100 КОЕ/см³, для болгарской палочки – $2 \cdot 10^3$ КОЕ/см³).

Определение биохимического состава вторичного сырья, получаемого при производстве бакконцентратов. Основные физико-химические показатели барды, получаемой при производстве бакконцентратов на основе микроорганизмов рода *Lactococcus*, ее концентрата, полученного способом нанофльтрации и впоследствии сгущенного на вакуум-выпарной установке (таблица 5.18).

Исследования показали, что при нанофльтрации наибольший фактор концентрирования имеют белки, пептиды и свободные аминокислоты, которые вместе определяются как общий белок. Это объясняется тем, что азотсодержащие соединения имеют молекулярный вес существенно выше пороговой селективности НФ-мембран.

Таблица 5.18 – Основные физико-химические показатели барды, получаемой при производстве бактериальных заквасок и продуктов на ее основе

Показатель	Барда	Концентрат		Фильтрат	Стушенный на ВВУ продукт	
	СВ, %	СВ, %	ФК	СВ, %	СВ, %	ФК
Массовая доля сухих веществ, %	8,7±1,1	15,2±0,8	1,75	2,2±0,3	56,1±3,6	3,7
Массовая доля общего белка, %	0,97±0,07	2,48±0,17	2,56	—	9,65±0,82	3,8
Массовая доля лактозы, %	3,91±0,42	7,28±0,67	1,86	0,6±0,1	25,4±3,4	3,5
Расчетный БПК ₅ , мг/кг	35 300	72 900	—	3900	264 000	—

Фактор концентрирования по лактозе несколько ниже, так как некоторая часть, особенно на заключительных стадиях процесса, уходит в фильтрат. Фактор концентрирования, в целом по сухим веществам, несколько ниже в связи с существенным уходом в фильтрат минеральной и низкомолекулярной органической составляющей барды. Таким образом, нанофильтрация позволяет не только проводить предварительное концентрирование сухих веществ барды, но и корректировать соотношение ее компонентов, увеличив относительное содержание высокомолекулярных веществ в конечном продукте. В ходе досгущения концентрата барды на вакуум-выпарной установке изменение соотношения компонентного состава продукта не происходит, что подтверждается совпадением фактора концентрирования по основным компонентам и в целом по сухому веществу (таблица 5.19).

Определено, что в барде содержится особенно большое количество глютаминовой кислоты и пролина. Они составляют примерно $\frac{1}{3}$ от общего количества. Еще третью часть составляют лейцин, аргинин, аспарагиновая кислота, лизин и валин. Остальные аминокислоты содержатся в незначительных количествах.

Таблица 5.19 – Результаты испытаний микробиальной барды, ее НФ-концентрата и сгущенной на ВВУ (анализ проводили в РУП «Научно-практический центр гигиены», Республика Беларусь)

Показатель	Образцы барды		
	исходная	НФ- концентрат	сгущенная на ВВУ
Массовая доля сухих веществ, %	8,5	15,1	56,7
Массовая доля протеина, %	1,2	2,7	10,1
<i>Содержание аминокислот, г/100 г</i>			
Аспарагиновая	79,4±15,9	168,4±33,7	669,4±133,9
Глутаминовая	290,7±58,1	714,3±142,9	2533,8±506,8
Серин	53,1±10,6	128,4±25,7	487,7±97,5
Треонин	43,6±8,7	107,6±21,5	373,3±74,7
Глицин	25,0±5,0	64,9±13,0	188,3±37,7
Аланин	38,1±7,6	101,9±20,4	322,9±64,6
Аргинин	69,0±13,8	193,2±38,6	734,0±146,8
Пролин	143,1±28,6	341,6±68,3	1109,1±221,8
Валин	63,5±12,7	158,5±31,7	530,3±106,1
Метионин	12,4±2,5	42,3±8,5	129,4±25,9
Лейцин	19,7±3,9	72,1±14,4	736,0±147,2
Изолейцин	87,4±17,5	151,0±30,2	155,2±31,0
Фенилаланин	55,6±11,1	141,6±28,3	479,9±96,0
Цистеин	8,2±1,6	32,4±6,5	124,0±24,8
Лизин	74,5±14,9	184,6±36,9	626,2±125,2
Гистидин	47,2±9,4	129,5±25,9	445,7±89,1
Тирозин	40,8±8,2	96,5±19,3	321,9±64,4
Общее количество	1151,5±230,3	2829,0±565,8	9966,9±1993,4

При отработке технологического процесс производства сухой барды отработано два варианта ее сгущения: первый – с использование предварительного концентрирования на установке нанофльтрации, а затем вакуум-выпарка, второй – только вакуум-выпарка (таблица 5.20).

При определении количественного содержания радионуклидов установлено, что удельная активность Cs-137 в партиях кормовой добавки не превышала 4,3±2,1 Бк/кг. По показателям безопасности продукты соответствовали требованиям, установленным в главе 3 «Продукция кормовая молочной, рыбной и микробиологической промышленности» «Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов» от 10.02.2011 г. № 10 (в редакции от 20.05.2011 г. №33).

Таблица 5.20 – Физико-химические показатели барды и продуктов ее сгущения

Показатель	образец №1	образец №2	образец №3	образец №4	образец №5
Активная кислотность, ед. рН	6,4±0,13	6,4±0,15	6,7±0,14	6,53±0,15	–
Массовая доля сухих веществ, %	8,0±0,09	11,0±0,11	50,3±0,37	49,0±0,29	–
Массовая доля влаги, %	–	–	–	–	2,32±0,07
Массовая доля белка, %	1,2±0,1	1,7±0,1	7,6±0,2	6,7±0,2	14,0±0,4
Массовая доля лактозы, %	3,78±0,6	4,64±0,7	21,9±1,7	22,9±1,9	41,8±2,9
Массовая доля золы, %	2,89±0,22	4,06±0,24	16,3±0,94	15,8±0,89	34,24±1,8
Массовая доля фосфора, %	0,034±0,001	0,058±0,02	0,246±0,01	0,21±0,01	0,37±0,02
Содержание, мг/кг					
меди	10±0,9	26±1,3	46±3,4	20±2,3	40±4,8
железа	0,11±0,005	0,02±0,005	0,06±0,005	0,20±0,01	0,40±0,01
цинка	8±0,4	19±0,9	28±1,2	17±0,8	26±1,2
кальция	186±23	256±34	710±89	567±64	1622±187
натрия	10350±9400	11232±1040	60206±5400	34283±3120	70715±6570
магния	33±3	54±5	228±28	261±31	559±66
калия	538±61	633±70	2927±329	3811±421	6225±684

Примечание. Образец барды (образец №1), а также продукты, полученные на ее основе: концентрированная (образец №2), сгущенная (образец №3 – получен с использованием нано-фльтрации и вакуум-выпаривания, образец №4 – получен с использованием только вакуум-выпаривания) и сухая барда (образец №5).

С целью определения хранимостойкости сгущенной кормовой добавки были проведены исследования по определению сроков годности (хранения). В ходе проведения предыдущего этапа работы, из общего объема были отобраны образцы для проведения исследований по определению сроков годности добавки кормовой на основе продуктов микробного синтеза сгущенной. При определении органолептических показателей установлено, добавка кормовая на основе продуктов микробного синтеза сгущенная представляет собой густую жидкость с незначительным хлопьевидным осадком, количество которого не изменялось при хранении при температуре от 2 до 8 °С в течение 92 суток.

При определении микробиологических показателей добавки кормовой сгущенной установлено, что на протяжении 92 суток исследований с периодичностью, установленной в разработанной программе исследований, во всех трех образцах добавки отсутствовали плесени и дрожжевые грибы, патогенные эшерихии, бактерии рода *Salmonella*, а общее микробное число не

превышало 100 КОЕ/г, что соответствовало показателям кормовых добавок, нормируемым техническими условиями.

Таким образом, партии добавки кормовой сгущенной по микробиологическим, физико-химическим, органолептическим показателям и показателям безопасности в течение 92 суток исследования соответствовали проекту технических условий ТУ ВУ 100098867.351-2014 «Добавки кормовые на основе продуктов микробного синтеза».

С целью изучения поедаемости добавки кормовой на основе продуктов микробного синтеза сгущенной, а также кормовой добавки на основе продуктов микробного синтеза сгущенной, обогащенной пробиотическими микроорганизмами, и их влияния на рост молодняка свиней в условиях «Школы-фермы по свиноводству» ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита» совместно со специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству» был поставлен научно-хозяйственный опыт.

Определен усредненный химический состав органического вещества кормосмесей на основе полнорационного комбикорма ЗСК-26 (таблица 5.21), который использовали в опыте, а также их аминокислотный состав (таблица 5.22). Содержание незаменимых аминокислот в кормах определялось на аминокислотном анализаторе хроматографическим методом.

Таблица 5.21 – Содержание основных питательных веществ в контрольной, I и II опытных кормосмесях, используемых в обменном опыте, в пересчете на комбикорм натуральной 14%-ной влажности, %

Кормосмесь	СВ	Органическое вещество	Сырой жир	Общий азота	Сырой протеина	Сырая клетчатка	Сырая зола	БЭВ
Контрольная	87,86	83,31	7,30	2,64	16,51	7,20	4,55	52,30
I опытная	87,89	83,38	7,31	2,65	16,55	7,18	4,51	52,34
II опытная	87,92	83,41	7,31	2,66	16,56	7,18	4,51	52,36

Таблица 5.22 – Аминокислотный состав контрольной I и II опытных кормосмесей, в пересчете на комбикорм натуральной 14%-ной влажности, г

Кормосмесь	Лизин	Метионин + цистин	Трипто- фан	Треонин	Валин	Изолей- цин
Контрольная	8,82	5,35	1,97	5,88	6,03	3,33
I опытная	8,83	5,36	1,97	5,89	6,04	3,34
II опытная	8,84	5,37	1,98	5,90	6,05	3,35

На заключительном этапе работы была рассчитана экономическая эффективность использования кормовых добавок с полнорационным комбикормом ЗСК-26 на поросятах группы доращивания и откормочном молодняке свиней (таблица 5.23).

Таблица 5.23 – Экономическая эффективность скармливания кормовой добавки разным группам животных

Показатель	Контрольная	I опытная	II опытная
Стоимость 1 у.е., руб.	10810	10810	10810
Продолжительность в опыте, кормо-дней	119	119	119
Среднесуточные затраты комбикормов, кг	2,07	2,06	2,05
Стоимость 1 кг комбикорма СК-26, руб.	4382,34	4382,34	4382,34
Стоимость 1 кг комбикорма СК-26, у.е.	0,41	0,41	0,41
Затрачено комбикорма в расчете на 1 голову, кг	246,33	245,14	243,95
Получен прирост живой массы в опыте, кг	74,30	77,15	77,46
Стоимость затраченного в расчете на 1 гол. комбикорма, руб.	1079502	1074287	1069072
Условная себестоимость прироста живой массы (корма 70 % в структуре себестоимости), руб.	1349377	1342859	1336340
Условная себестоимость 1 ц прироста живой массы (корма 70 % в структуре себестоимости), руб.	1816120	1740581	1725200
Условная себестоимость 1 ц прироста живой массы (корма 70 % в структуре себестоимости), у.е.	168,00	161,02	159,59
Стоимость 1 ц прироста живой массы, у.е.	231,27	231,27	231,27
Условная прибыль, у.е.	63,26	70,25	71,67
Дополнительная условная прибыль в расчете на 1 ц прироста живой массы, у.е.	0	6,99	8,41
Условная прибыль, %	100,0	111,0	113,3

Примечание. Расчеты проведены в ценах на 01.11.2014 г.

Экономическую эффективность применения кормовой добавки на основе продуктов микробного синтеза сгущённой и кормовой добавки на основе продуктов микробного синтеза сгущённой, обогащенной пробиотическими микроорганизмами – *Lactobacillus casei*, совместно с полнорационным комбикормом ЗСК-26 определяли как дополнительную условную прибыль, полученную в опытных группах по отношению к контрольной в расчете на 1 ц прироста живой массы. В научно-хозяйственном опыте дополнительная условная прибыль, полученная в первой опытной группе, по отношению к контрольной в расчете на 1 ц прироста живой массы составила 6,99 у.е., или была на 11,0 % больше, чем у контрольных поросят. Дополнительная условная прибыль, полученная во второй опытной группе по отношению к контрольной в расчете на 1 ц прироста живой массы составила 8,41 у.е., или была на 13,3 % больше, чем у контрольных поросят.

ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ

1. Технологически доказано, что целесообразно проводить нейтрализацию кислых видов сыворотки после нанофльтрации, либо при подаче сгущенного продукта в емкости для кристаллизации путем организации грубой корректировки рН в потоке. Окончательно корректировку уровня рН завершают во время кристаллизации при тщательном перемешивании. Рекомендуемый уровень раскисления рН – от 5,8 до 6,4 ед. Установлено, что кристаллизация раскисленной сыворотки происходит гораздо быстрее, выдержка ее при низких температурах может привести к образованию плотной субстанции. Предложены формула и коэффициенты для практического определения количества раскисляющего агента.

2. Разработана технология производства сывороточно-жирового концентрата, основанная на раскислении сыворотки, которая позволяет производить основной компонент для производства ЗЦМ из кислых видов молочной сыворотки.

3. Показано, что потребление ЗЦМ с белком молочного происхождения и растительного происхождения отличается незначительно. Увеличение содержания белка в ЗЦМ с 21 до 26 % приводит к увеличению привесов на 2-5 %. Повышение содержания жира в ЗЦМ с 14 до 20 % приводит к увеличению средних привесов на 17,8 %.

4. Разработана технология пробиотической добавки «Биомикс-вет» для ЗЦМ и других кормовых продуктов. Доказано, что ярко выраженный пробиотический эффект наблюдался у группы телят, потреблявшей с кормом 2 раза в день по 1×10^8 жизнеспособных клеток лактобацилл и 1×10^8 бифидобактерий.

5. Разработана технология кормовой добавки на основе бактофугата, полученного при производстве бактериальных заквасок. Дополнительная условная прибыль, полученная в первой опытной группе, по отношению к контрольной в расчете на 1 ц прироста живой массы составила 6,99 у.е., или была на 11,0 % больше, чем у контрольных поросят. Дополнительная условная прибыль, полученная во второй опытной группе по отношению к контрольной в расчете на 1 ц прироста живой массы составила 8,41 у.е., или была на 13,3 % больше, чем у контрольных поросят.

Глава 6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1 Разработка комплексного организационно-технологического подхода для повышения совокупной эффективности переработки молока

Производство молочных продуктов по традиционным технологиям не всегда позволяет рационально использовать все составляющие части молока. Основная цель данной части работы – продемонстрировать, как относительно несложные анализ и расчеты позволяют по-новому увидеть перспективность тех или иных направлений развития предприятия (холдинга, производственного кластера). За пределы рассуждений сознательно вынесена маркетинговая составляющая производственной деятельности. На наш взгляд, она имеет решающее значение при производстве продукции, направленной на конечного массового потребителя (цельномолочная продукция и др.). Для биржевых товаров ее роль нивелируется. В данном случае важнее обеспечение возможности маневра сырья в рамках технико-технологических возможностей производства в зависимости от конъюнктуры рынка. Развитие технологии таких продуктов ведется по двум основным векторам: «в пространстве» – специализация предприятий в рамках холдингов, и «во времени» – совершенствование технологических возможностей с целью углубления переработки, получения более качественного продукта. При этом отрабатываются два основных направления экономии: качество продукта и эффективность производства (техническая – повышение эффективности работы оборудования, технологическая – использование побочных продуктов, снижение потерь).

Проведем анализ структуры переработки молока на экспортные продукты с позиции полного использования молочного сырья (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Выручка от продажи продукции, произведенной из 1 т цельного молока

Вариант *	СЦМ		СОМ		Сыр		Масло		Сыворотка сухая		Сыворотка сухая ДМ50		Казеин		Итого
	кг	\$	кг	\$	кг	\$	кг	\$	кг	\$	кг	\$	кг	\$	
1	124	4,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	558
2	–	–	80	4,3	–	–	45	5,25	–	–	–	–	–	–	580
3	–	–	–	–	100	5,15	–	–	45	1**	–	–	–	–	560
4	–	–	–	–	–	–	45	5,25	–	–	–	–	24	7,7	421
5	–	–	–	–	–	–	45	5,25	–	–	40	1,3**	28	7,7	503

Примечание. Таблица составлена по данным ОАО «Белорусская универсальная товарная биржа» (официальный сайт: <http://www.butb.by/>, дата доступа 28.07.2010 г.).

* Варианты переработки: 1 – сухое цельное молоко; 2 – масло + сухое обезжиренное молоко; 3 – сыр (творог) + сыворотка сухая; 4 – масло + казеин; 5 – масло + казеин (модернизация линии) + сухая деминерализованная казеиновая сыворотка.

** По оперативным данным.

Анализ выручки от продажи (таблица 6.1) показал, что производство по первым трем вариантам практически равнозначно с позиции объема выручки. Абсолютная величина колеблется в зависимости от биржевой ситуации, относительно друг друга колебания незначительны. Достаточно высокие, в тот период, цены на масло делали несколько более предпочтительной работу по второму варианту. При производстве СЦМ (первый вариант) важным моментом является относительно простая технология, практическое отсутствие побочных продуктов, возможность перерабатывать большие объемы молока при низких требованиях к количеству трудовых ресурсов и их квалификации. Но все это касается высокопроизводительного современного оборудования, получение же качественного СЦМ на старом оборудовании затруднительно. Третий вариант в 2010 году был менее выгодным в связи с отсутствием нормально работавшей на тот момент в рамках страны системы переработки молочной сыворотки.

Возвращаясь к оценке целесообразности развития производства казеина, заметим, что низкая выручка от его производства (строка 4 таблица 6.1) объясняется использованием предприятиями оборудования, не соответствующего современным требованиям ресурсо- и энергосбережения. Ситуация изменится, если сократить общее количество участков производства казеина, а оставшиеся участки оснастить высокопроизводительным современным оборудованием с использованием декантеров для отделения казеинового зерна от сыворотки и

промывной воды (строка 5 таблица 6.1). Для коагуляции белка целесообразно использование минеральных кислот (предпочтительно – соляная кислота). При разумном подходе затраты на проведение такой модернизации окупаются в течение года. Собранную сыворотку деминерализуют и сушат. Но и в этом случае общая выручка ниже, чем в первых трех вариантах. Объясняется это тем, что собственно казеин рынку не нужен, нужны казеинаты. Имеющаяся разница 60–80 долл. и есть маржа производителей казеинатов. Имеет место международное разделение труда и прибылей – Республике Беларусь достается наиболее проблемная жидкая часть, включающая утилизацию кислой сыворотки, а нашим зарубежным партнерам – сухой процесс и конечная реализация высокодоходной продукции [2, 3, 20, 259, 275, 278].

На анализе целесообразной глубины деминерализации остановимся отдельно. Обоснование целесообразности производства сыворотки деминерализованной было проведено на основании анализа изменения цен на деминерализованные продукты и расчета дополнительных затрат на процесс деминерализации до достижения требуемой степени. Цена на сыворотку различной степени деминерализации: сыворотка подсырная 0,88-1,05 USD/кг, сыворотка Д40 (нанофильтрованная) 1,05-1,30 USD/кг, сыворотка Д50/Д70 (НФ+ЭД) 1,30-1,67 USD /кг (сайт АгроСервер.ru. Данные на 24 июня 2012 года). Операционные расходы на деминерализацию сыворотки, включающие в себя потребление электроэнергии, воды, химических реагентов, а также затраты на годовую плановую замену мембран, прокладок и электродов, приведены в таблице 6.2.

Необходимо также отметить, что предварительное концентрирование сыворотки при помощи нанофильтрации, уже ставшей промышленным стандартом на предприятиях Республики Беларусь, позволяет частично (до 30 %) снизить зольность сыворотки, уменьшая тем самым нагрузку на электродиализ. Кроме того, применение нанофильтрации частично компенсирует недостаточную эффективность и несбалансированность вакуум-выпарных установок, упрощает

кристаллизацию и сушку. В этом кроется коренное отличие применения нанофильтрации от обратного осмоса.

Таблица 6.2 – Расчетные операционные расходы на процесс деминерализации молочной сыворотки, концентрированной нанофильтрацией, на получение 1 т сухого деминерализованного продукта, USD/т сухого продукта

Степень деминерализации	Операционные расходы на деминерализацию	
	подсырной нанофильтрованной сыворотки	кислой (творожной или казеиновой) нанофильтрованной сыворотки
50 %	16	32
70 %	30	50
90 %	60	105

Дополнительная выручка от производства 50 % подсырной деминерализованной сыворотки (ДМ 50) (в сравнении с 30 %). Цена – 1590 USD/т (данные белорусского предприятия). Разница в цене составляет 250-375 USD/т. Операционные расходы электродиализной установки – 16 USD/т. Выработка 11,5 т в сутки сухой 50 % деминерализованной сыворотки (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Оценка предельной дополнительной выручки при производстве сыворотки ДМ 50

Дополнительная выручка (ДМ 50)	1 т	В сутки	В год
min значение, \$	234	2 688	750 000
max значение, \$	359	4 125	1 237 500

Дополнительная выручка от производства 90 % подсырной деминерализованной сыворотки (ДМ 90) (в сравнении с 30 %) Цена – 2080 USD/т (данные белорусского предприятия). Разница в цене – 690-940 USD/т. Операционные расходы электродиализной установки – 60 USD/т. Выработка 10 т в сутки сухой 90 % деминерализованной сыворотки (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Оценка предельной дополнительной выручки при производстве сыворотки ДМ 90

Дополнительная выручка (ДМ 90)	1 т	В сутки	В год
min значение, \$	625	6 250	1 875 000
max значение, \$	875	8 750	2 625 000

Разумное внедрение современных технологий переработки сыворотки, обоснованное сочетание технологических приемов и правильный выбор направления переработки позволил превратить этот «отход производства» в целевой продукт (рисунок 6.1).

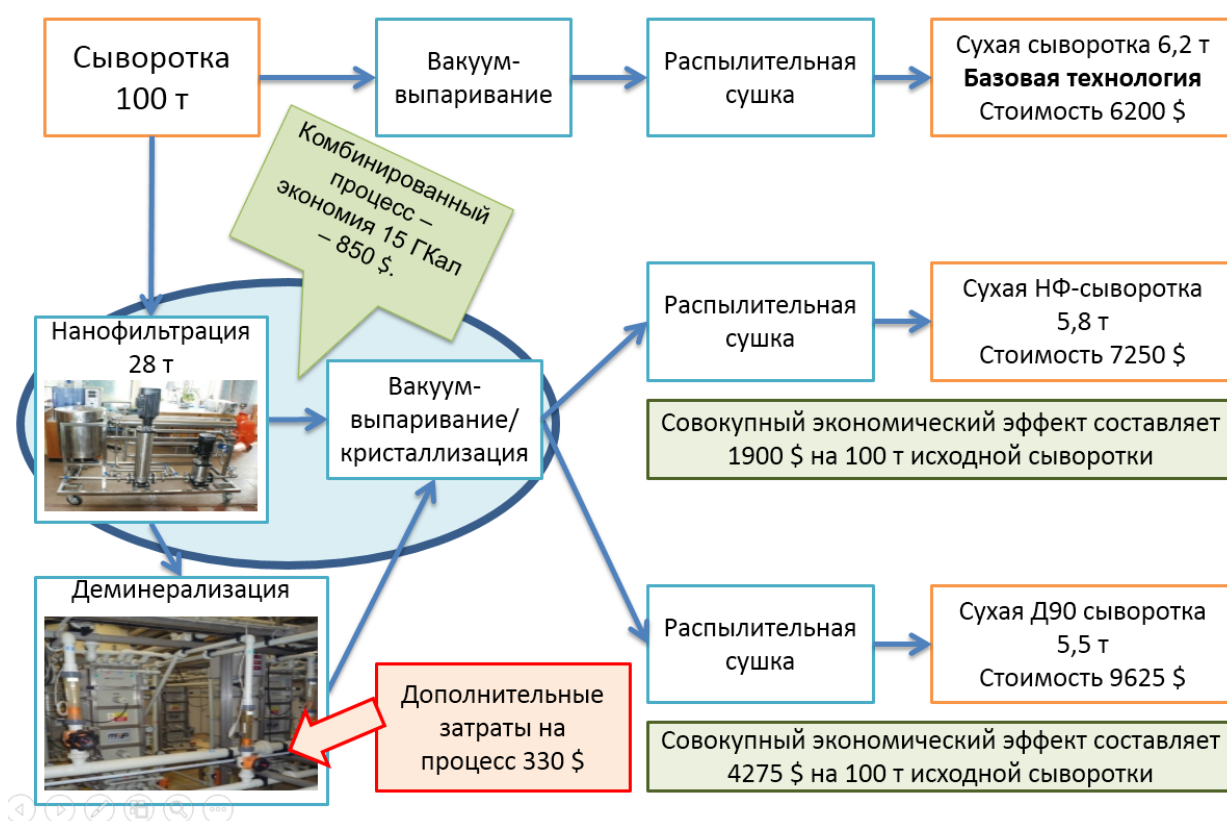


Рисунок 6.1 – Эффективность использования мембранных технологий при переработке сыворотки

Ультрафильтрация молока, применение пермеата. Несмотря на достигнутые успехи в разработке технологий переработки различных видов молочной сыворотки, необходимо стремиться к снижению ее получения. Большие

возможности для работы в этом направлении нам открывает применение ультрафильтрации на этапе подготовки молока к производству йогурта, сыра, творога и казеина (рисунок 6.2) [134, 141, 221, 226, 241].

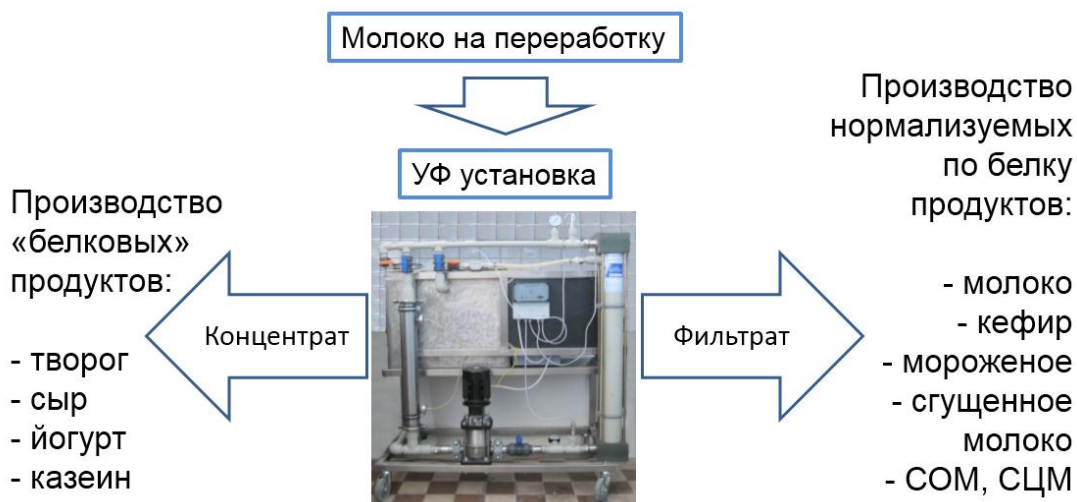


Рисунок 6.2 – Направления использования продуктов ультрафильтрации молока

В ходе процесса получают два продукта:

- концентрат (ультраконцентрат, ретентат) – продукт переработки молока, в котором повышено/нормализовано содержание белка;
- фильтрат (ультрафильтрат, пермеат) – продукт, содержащий раствор лактозы и минеральных солей в воде.

В ходе исследований был определен физико-химический и минеральный состав исходного обезжиренного молока-сырья и пермеата, полученного при концентрировании обезжиренного молока до 13,5 % сухих веществ (таблица 6.5).

При проведении технологических работ установлено, что высокобелковые продукты предпочтительно производить из смеси, содержащей стабильное и повышенное содержание белка. Так, при производстве казеина содержание белка в сырье, без ущерба для техпроцесса, может быть увеличено до 4,5-5,0 %, что соответствует фактору концентрирования 1,2-1,5. При этом положительные эффекты заключаются в снижении удельного количества кислой сыворотки на 25-50 %; в снижении затрат на кислоту, требуемую для проведения коагуляции; в увеличении коэффициента использования оборудования, снижении удельных

затрат тепла, технологической воды и электроэнергии на жидкую часть процесса.

Таблица 6.5 – Минеральный профиль пермеата и обезжиренного молока-сырья

Показатель	Молоко обезжиренное	Пермеат
Массовая доля сухих веществ, %	8,7±0,3	4,8±0,12
Массовая доля лактозы, %	5,11±0,35	4,61±0,23
Массовая доля общего белка, %	3,14±0,09	0,180±0,015
Массовая доля небелкового азота, %	0,015±0,004	0,013±0,004
Массовая доля золы, %	0,76±0,04	0,44±0,02
Массовая доля фосфора, %	0,121±0,013	0,074±0,005
Содержание кальция, мг/дм ³	376,8±24,1	80,1±67,6
Содержание натрия, мг/дм ³	273,6±21,5	238,9±16,4
Содержание магния, мг/дм ³	53,3±3,9	27,2±1,7
Содержание калия, мг/дм ³	1492,0±119,1	1296,0±100,7

Для производства творога и сыра содержание белка в сырье, без ущерба для техпроцесса, может быть увеличено до 3,8-4,2 %, что соответствует фактору концентрирования 1,1-1,25. При этом увеличивается коэффициент использования оборудования при снижении удельных затрат тепла, технологической воды и электроэнергии на жидкую часть процесса, лимитирующий фактор – наличие достаточного количества прессов и соляных бассейнов; также снижаются затраты на закваску и фермент, стабилизируется процесс производства, т.к. содержание белка независимо от сезона будет постоянным (рисунок 6.3), на 20-30 % снижается удельное количество сыворотки.

Для производства некоторых видов кисломолочных продуктов (обычный йогурт, греческий йогурт, мягкие сыры) обезжиренное сухое вещество должно составлять 9,5 % и более, что соответствует содержанию белка 4,5-5,0 % и более. Такого эффекта можно достичь, применяя ультрафильтрацию с фактором концентрирования 1,4-2,0 по белку. К положительному моменту такой нормализации можно отнести отсутствие необходимости добавления СОМ/СЦМ. При этом снижается себестоимость продукта, а в рекламе можно делать акцент, что продукт производится исключительно из молока «без порошка».

Нормализация по белку – повышение производительности творожных и сырных линии без установки новых котлов

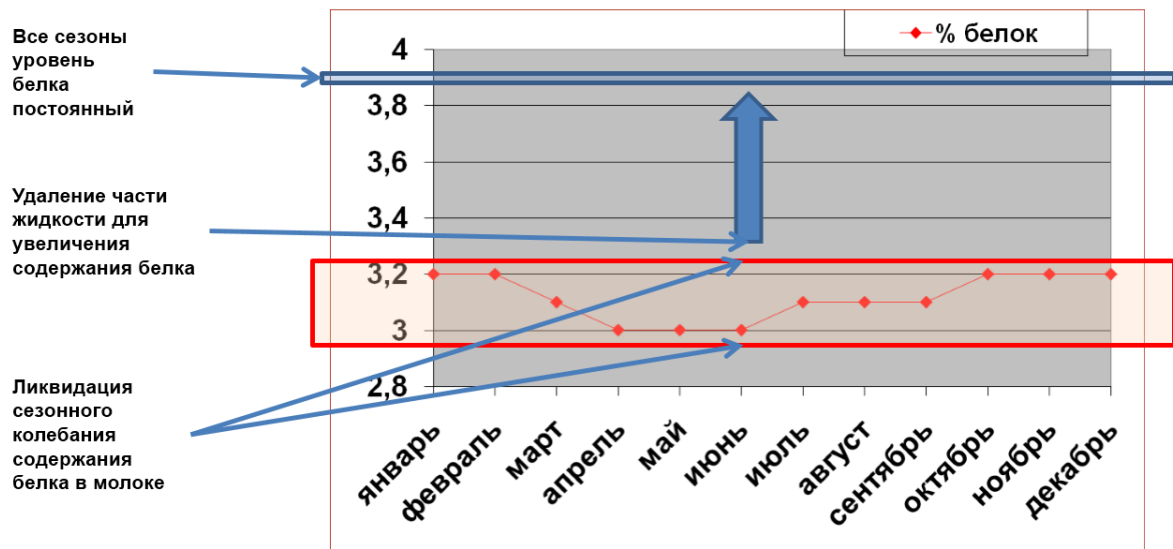


Рисунок 6.3 – Схема стабилизации сезонного содержания белка

Фильтрат также имеет свою нишу для применения принципиально отличающуюся от направлений использования сыворотки. Эффект от применения фильтрата при **производстве жидких молочных продуктов**, обусловлен тем, что ряд производимых продуктов характеризуется минимальными требованиями к содержанию белка, которое постоянно превышает в обычных условиях. Питьевое молоко, кефир и другие подобные напитки, в которых минимальное количество белка по стандарту определено как 2,8 %, обычно содержат 3,0-3,2 %, что позволяет использовать безбелковый ультрафильтрат для их нормализации (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Расчет эффекта при нормализации питьевого молока и других молочных напитков по белку (расчет проведен для обезжиренного продукта)

Белок в исходном молоке, %	Добавка фильтрата, кг на 1000 кг сырья	Экономия <u>на сырье</u> , при закупочной цене 0,3 USD/кг)
2,8	0	0,0
2,9	36	10,8
3,0	71	21,3
3,1	107	32,1
3,2	143	42,9
3,3	179	53,7
3,4	214	64,2
3,5	250	75,0

Полученные данные позволили вывести зависимости массы фильтрата, необходимого для внесения в определенное количество молока, с целью его нормализации по белку. Для нормализации по белку *жидких молочных продуктов* (типа питьевого молока, кефира, ряженки – нормирование белка во всем продукте) при содержании массовой доли белка выше требуемой, массу пермеата, необходимого для нормализации, рассчитывают по формуле (6.1):

$$M_{\text{п}} = M_{\text{м}} \cdot (B_{\text{м}} - B_{\text{т}}) / (B_{\text{т}} - B_{\text{п}}), \quad (6.1)$$

где $M_{\text{п}}$ – масса пермеата, которую необходимо добавить к массе нормализуемого молока; $M_{\text{м}}$ – масса нормализуемого молока; $B_{\text{т}}$ – требуемая доля белка готового продукта, соответствующая требованиям ТНПА (в настоящий момент 0,028, для расчетов рекомендуем принимать 0,0285); $B_{\text{п}}$ – доля белка в пермеате, для практических расчетов можно принимать значение из диапазона 0-0,002, рекомендуем 0,001.

Следует понимать, что **после** нормализации по белку для жирных продуктов необходимо проводить нормализацию по жиру, так как в противном случае его процентное содержание уменьшится и расчеты значительно усложнятся.

При производстве **сухого обезжиренного молока (или цельного)**, согласно стандарту СТБ 1858-2009 «Молоко сухое. Технические условия», должно в сухом обезжиренном остатке содержаться не менее 34 % белка. Обычно этот показатель существенно превышает установленную норму и составляет 36-38 % (в отдельных случаях до 42 %). В случае нормализации молока фильтратом обезжиренного молока (допускается стандартом кодекса Алиментариуса CODEX STAN 207-1999 и ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции») можно увеличить выход стандартного СОМ/СЦМ за счет привлечения безбелковых сухих веществ обезжиренного молока из ультрафильтрата (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Расчет дополнительной выручки при нормализации по белку от переработки 1000 кг обезжиренного молока в СОМ (4 USD /кг)

Белок в исходном молоке, %	Добавка фильтрата, кг на 1000 кг сырья	Выход нормализованного СОМ, кг	Дополнительная выручка, USD
3,0	0	93,8	0
3,1	53	97,0	11
3,2	114	100,7	24
3,3	175	104,4	37
3,4	236	108,0	50
3,5	297	111,7	63

Для нормализации по белку *концентрированных, сгущенных и сухих продуктов* (нормирование белка в СОМО) зависимость примет несколько иной вид:

$$M_{п} = M_{м} \cdot (B_{м} - B_{т} \cdot СОМО_{м}) / (B_{т} \cdot СОМО_{п} - B_{п}), \quad (6.2)$$

где $M_{п}$ – масса пермеата, которую необходимо добавить к массе нормализуемого молока; $M_{м}$ – масса нормализуемого молока; $B_{т}$ – требуемая доля белка в сухом обезжиренном молочном остатке продукта, соответствующая требованиям ТНПА (в настоящий момент 0,34, для расчетов рекомендуем принимать 0,345); $B_{п}$ – доля белка в пермеате, для практических расчетов можно принимать значение из диапазона 0-0,002, рекомендуем 0,001; $B_{м}$ – доля белка в исходном нормализуемом молоке (как правило в пределах 0,03-0,034); $СОМО_{м}$ – доля сухого обезжиренного молочного остатка исходного нормализуемого молока; $СОМО_{п}$ – доля сухого обезжиренного молочного остатка пермеата.

Как и в предыдущем случае, после нормализации по белку для жирных продуктов необходимо проводить нормализацию по жиру, иначе его процентное содержание уменьшится.

6.2. Оценка эффективности проведенных исследований в области создания технологий пищевых и кормовых продуктов

За время реализации программных мероприятий, разработки и внедрения новых технологий переработки побочных продуктов переработки молока и, прежде всего, молочной сыворотки, объемы ее производства в Республике Беларусь выросли в 2 раза, а объем переработки – в 22,5 раза, и достиг 81 % от общего объема производства (таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Объемы производства и экспорта молока и выработки сухих молочных продуктов, тыс. т

Показатель, вид продукта	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Поступило на переработку молока, тыс. т	3 445	3 885	4 416	4 598	4 968	5554	5 658	5290	5735	5518	5855	6161
	<i>Произведено продукции по группам, тыс. т</i>											
СЦМ	29,6	35,9	31,2	32,2	30,6	30,9	28,4	27,6	34,3	46,1	36,1	35,3
СОМ	45,8	54,1	70,4	69,2	77,7	101,6	101,2	65,1	83,1	101,7	106,9	120,3
Сыры	65,1	82,3	101,2	110,0	127,6	134,1	146,3	144,7	150,5	136,2	169,7	177,3
Казеин	7,9	9,0	8,8	8,8	12,7	13,9	10,2	9,8	7,9	3,4	3,1	2,4
	<i>Переработано сыворотки, тыс. т (%)</i>											
Вся	1023	1360	1491	1544	1863	1952	1885	2018	2065	1879	2143	2269
Подсырная	588	729	859	937	1033	1072	1180	1220	1295	1187	1479	1584
Творожная	162	285	342	354	475	451	455	484	520	559	549	568
Казеиновая/ прочая	274	346	290	254	354	429	250	314	250	110/ 22,5	101/ 13,6	99,6/ 17,2
Переработано сыворотки, (%)	77 (8)	151 (11)	220 (15)	402 (26)	465 (25)	510 (26)	774 (41)	1033 (51)	1176 (57)	1280 (68)	1731 (81)	1888 (83)
Произведено сухой сыворотки	4,1	5,9	8,2	12,1	13,9	16,8	28,0	39,6	44,4	45,7	59,7	64,7

Примечание. Таблица составлена по оперативным данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь

Проведенные исследования позволили в области пищевых продуктов создать технологические основы комплексного использования побочных продуктов переработки молока. Разработан «Типовой технологический регламент

на переработку молочной сыворотки баромембранными методами ТР ВУ 100098867.315-2012, в котором сведены современные технологические возможности мембранных методов обработки молочного сырья, основные требования к проведению процессов. Обобщение рациональных способов обеспечения производства сухих продуктов с учетом базовых подходов по технологии Low-heat позволило разработать «Технологический регламент по изготовлению сухих молочных продуктов с низкотемпературной обработкой» ТР ВУ 100098867.388-2014 [218].

Усовершенствованы путем обоснования режимов применения нанофильтрации и обратного осмоса технологии производства сыворотки молочной концентрированной ТТИ РБ 100098867.055-2005 и сыворотки молочной сгущенной ТТИ РБ 100098867.054-2005. Проведены работы по расширению ассортимента «Концентрата сывороточного белкового, полученного методом ультрафильтрации, «КСБ-УФ» ТУ РБ 00028493.459-98 извещение № 5 об изменении.

Внедрена операция кристаллизации при производстве сухой сыворотки ТИ РБ 100098867.115-2007 изменение № 1 и на ее основе создана типовая технологическая инструкция ТТИ 100098867.278-2011 по изготовлению сыворотки молочной сухой подсырной к СТБ 2219. Разработана технология сыворотки сухой деминерализованной методом электродиализа ТУ ВУ 100098867.219-2007 «Сыворотка молочная сухая деминерализованная» изменение № 7, ТИ ВУ 100098867.269-2011.

Созданы новые продукты «Сыворотка концентрированная гидролизованная и деминерализованная гидролизованная» ТУ ВУ 100098867.205-2012, ТИ ВУ 100098867.294-2012 и «Сыворотки сухие гидролизованная и деминерализованная гидролизованная» ТУ ВУ 100098867.306-2012, ТИ ВУ 100098867.295-2012.

Как направление переработки кислых видов сыворотки, разработана «Сыворотка сухая лактатсодержащая» ТУ ВУ 100098867.267-2011 и изменения № 1-2, ТИ ВУ 100098867.275-2011 и изменения № 1-2.

В области производства молочного сахара – «Сахар молочный высокоочищенный» ТУ ВУ 100098867.320-2013, ТИ ВУ 100098867.289-2013. Разработан новый продукт «Меласса молочная» ТУ ВУ 100098867.318-2012.

В ходе выполнения программы Союзного Государства «Отходы» разработан широкий ассортимент продуктов на основе сыворотки: «Пасты на основе молочной сыворотки» ТУ ВУ 100098867.302-2012, ТИ ВУ 100098867.306-2012; «Желе на основе молочной сыворотки» ТУ ВУ 100098867.303-2012, ТИ ВУ 100098867.303-2012; «Муссы на основе молочной сыворотки» ТУ ВУ 100098867.301-2012, ТИ ВУ 100098867.304-2012; «Напитки на основе молочной сыворотки» ТУ ВУ 100098867.307-2012, ТИ ВУ 100098867.305-2012.

В сегменте продуктов, производимых из смеси сыворотки и обезжиренного молока, созданы «Смеси сухие молочные и молокосодержащие» ТУ ВУ 100098867.284-2011, ТИ ВУ 100098867.271-2011.

Разработан комплект ТНПА и ТД на продукты ультрафильтрации обезжиренного молока: «Пермеат молочный» ТУ ВУ 100098867.288-2012 и изменение № 1; «Пермеат молочный концентрированный и сгущенный» ТУ ВУ 100098867.289-2012 и изменение № 1; «Пермеаты молочные сухие» ТУ ВУ 100098867.290-2012 и изменение № 1-3, ТИ ВУ 100098867.288-2012 и изменение № 1. Предложена технология по изготовлению «Концентрата молочного белка сухого с применением процесса ультрафильтрации» ТИ ВУ 100098867.202-2010. С целью расширения сферы использования концентратов молочного белка разработан «Творог» ТУ ВУ 100098867.315-2012 и технология его производства с применением ультрафильтрации ТИ ВУ 100098867.307-2012.

Работы в области модернизации технологии производства казеина привели к необходимости разработки «Казеины кислотные» ТУ ВУ 100098867.201-2006 и изменение №1, ТИ РБ 100098867.096-2006 и изменение №1, а также «Казеины кислотные пищевые» ТУ ВУ 100098867.292-2012 и изменение № 1, 3, ТИ ВУ 100098867.284-2012 и изменение № 1.

Массовым продуктовым сегментом, в котором использование сыворотки

исчисляется десятками тысяч тонн в год (в пересчете на сухое вещество) является группа кормовых продуктов. Одними из первых разработок в этой области были продукты аналоги сухого обезжиренного молока «Компонент сухой белковый для комбикормов» ТУ ВУ 100377914.516-2005 (опытная партия), ТТИ РБ 100377914.016-2005. Впоследствии этот документ был заменен на «Концентраты углеводно-белковые» ТУ ВУ 100098867.205-2007 и изменение № 1, 2, ТИ РБ 100098867.123-2007 и изменение №1. Для применения в кормосмесях была разработана «Сыворотка сухая обогащенная лактатами» ТУ ВУ 100377914.559-2008 и изменение № 1, 2, ТИ РБ 100377914.557-2008 и изменение № 1-3.

Наиболее масштабными стали разработки в области создания заменителей цельного молока как продукта, обладающего большим потенциалом импортозамещения. Первой разработкой такого рода был «Заменитель цельного молока «Агрокорм» ТУ ВУ 100098867.196-2006 и изменение № 1, ТИ РБ 100098867.086-2006. Наиболее востребованным является «Заменитель цельного молока» ТУ ВУ 100098867.216-2008 и изменение № 1-6, ТИ РБ 100098867.109-2008 и изменения № 1-4. Для телят младших возрастных групп разработан «Заменитель цельного молока «Молочный» ТУ ВУ 100377914.565-2009 и изменение № 1-4, ТИ РБ 100377914.564-2008 и изменения № 1-3. «Заменитель цельного молока «Союз» ТУ ВУ 100098867.304-2012, ТИ ВУ 100098867.286-2012 был разработан при выполнении программы Союзного Государства «Отходы». В последнее время предприятия молочной отрасли перешли к политике брендинга, что требует разработки ТНПА с защищенными наименованиями как, например, «Заменитель цельного молока «Заозерье» ТУ ВУ 300038802.006-2015.

Основным компонентом для производства заменителей цельного молока является концентрат жировой. В рамках исследований были разработаны несколько вариантов данного продукта. «Концентраты молочно-жировые» ТУ ВУ 100098867.200-2008 и изменение № 1, ТИ РБ 100098867.106-2008 и изменение № 1; «Продукт молочно-жировой сухой» ТУ ВУ 100098867.257-2010 и изменение № 1-7, ТИ РБ 100098867.222-2010 и изменения № 1-3; «Концентраты

сывороточно-жировые сухие «Ультрафат» ТУ ВУ 200022701.172-2014, ТИ ВУ 200022701.135-2014. Для приготовления заменителей цельного молока путем добавления сухого обезжиренного молока или сухой сыворотки на предприятиях, производящих ЗЦМ сухим смешиванием, разработаны «Концентраты молкосодержащие белково-жировые для приготовления заменителей цельного молока» ТУ ВУ 100098867.316-2013, ТИ РБ 100098867.323-2013 – методом сушки на распылительной сушилке и ТИ РБ 100098867.324-2013 – методом сухого смешивания.

К области кормовых продуктов следует отнести создание «Концентрата бактериального сухого «Биомикс-Вет» ТУ ВУ 100377914.575-2009 и «Добавки кормовые на основе продуктов микробиального синтеза» ТУ ВУ 100098867.351-2014.

Для реализации технологий производства пищевых и кормовых продуктов были созданы экспериментальные и опытные образцы оборудования. «Коаксиальный теплообменник» Я23-АТК ТУ РБ 100377914.498-2002, «Комплекс технологического оборудования для производства сухого компонента для перерабатывающей промышленности» Я23-ОСА ТУ РБ 100377914-2005. В «Комплексе оборудования для охлаждения молока» Я23-ОХА ТУ ВУ 100377914.537-2008 и изменение № 1 воплощен современный комбинированный подход к охлаждению молока на молочно-товарных фермах. В рамках выполнения программы Союзного Государства «Отходы» помимо создания лабораторно-технологического комплекса была проведена разработка и ряда опытных образцов технологического оборудования: «Аппарат вакуум-выпарной» Я23-ОВА ТУ ВУ 100098867.313-2012, «Установка сушильная» Я23-ОВА ТУ ВУ 100098867.312-2012, «Комплекс оборудования для производства пастообразных продуктов на молочной основе» Я23-ОДА ТУ ВУ 100098867.298-2012, «Комплекс оборудования для производства сухих смесей кормового назначения» Я23-ОСБ ТУ ВУ 100098867.299-2012, «Установка ультрафильтрационная для обработки молочного сырья» Я23-ОУФ ТУ ВУ 100098867.300-2012, «Установка нанофильтрационная» Я23-ОУН ТУ ВУ 100098867.311-2012.

На все оборудование был разработан полный комплект конструкторской документации, изготовлены опытные образцы, которые успешно прошли приемочные испытания с присвоением конструкторской документации литеры «О₁».

Из представленных разработок хочется выделить создание технологии по выработке сывороточно-жирового концентрата «Ультрафалт» из кислой сыворотки, под производство которого было создано новое производство в г. Иваново, Брестской области (Рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Ивановский цех Березовского Сыродельного комбината по состоянию на 2007 год (вверху) и 2015 (внизу)

Благодаря популяризации на тематических семинарах в г. Минске, г. Москве, г. Могилеве, г. Волковыске, г. Вологда, и др., было ускорено внедрение на молокоперерабатывающих заводах кристаллизации сыворотки, установок предварительной концентрации сыворотки при помощи нанофльтрации, начаты работы по внедрению ультрафильтрационного концентрирования молока для производства белковых продуктов, что снижает поступление сыворотки на переработку, позволяя использовать получаемый пермеат для нормализации молочных продуктов по белку, принося очевидных экономический эффект от применения прогрессивных методов нормализации молочных продуктов по белку.

В результате внедрения разработанных технологий было выпущено более 38,6 тыс. т сухих продуктов, прежде всего на основе молочной сыворотки, на сумму, эквивалентную более 49,2 млн. USD (таблица 6.9).

Сыворотка молочная концентрированная ТУ ВУ 100098867.179-2008 по ТТИ РБ 100098867.055-2005 выпускалась:

ОАО «Молочные горки»,

ОАО «Полоцкий молочный комбинат»,

ОАО «Лидский молочно-консервный комбинат»,

ОАО «Рогачевский молочно-консервный комбинат»,

ОАО «Поставкий молочный завод»,

ОАО «Беловежские сыры»,

ОАО «Глубокский молочно-консервный комбинат»,

ОАО «Беллакт»,

ОАО «Лепельский молочно-консервный комбинат» произведено более 125,0 тыс. т на сумму, эквивалентную более 10,5 млн. USD.

Таблица 6.9 – Подтвержденные объемы внедрения разработок, проведенных в рамках выполнения диссертационной работы, т

Производитель, продукт	2011	2012	2013	2014	2015
ПУП «Калинковичский молочный комбинат»					
Технология поточной кристаллизации сыворотки при производстве сыворотки сухой ТИ РБ 100098867.115-2007 изменение №1	в период с 2009 по 2012 выпущено 584 т				
ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод»					
«Сыворотка молочная сухая деминерализованная» ТУ ВУ 100098867.219-2007 по ТИ ВУ 100098867.269-2011	4148,3			2613,0	
Полесский производственный участок ОАО «Милкавита»					
«Сыворотка молочная сухая деминерализованная» ТУ ВУ 100098867.219-2007 по ТИ ВУ 100098867.269-2011				2018,6	961,0
Воложинский филиал ОАО «Молодечненского молочного комбината»					
Сыворотка сухая лактатсодержащая ТУ ВУ 100098867.267-2010	2810,9				
Сыворотка сухая обогащенная лактатами ТУ ВУ 100098867.559-2008	26,3				
ОАО «Лепельский молочноконсервный комбинат»					
Сыворотка сухая обогащенная лактатами ТУ ВУ 100098867.559-2008				26,6	66,9
«Заменитель цельного молока» ТУ ВУ 100098867.216-2008		12,6	170,5	58,0	171,0
«Продукт молочно-жировой сухой» ТУ ВУ 100098867.257-2010		1,0	22,6		2,3
«Концентраты молочно-жировые» ТУ ВУ 100098867.200-2008		120,9	92,3	294,4	144,2
ОАО «Савушкин продукт»					
«Сыворотка молочная сухая деминерализованная» ТУ ВУ 100098867.219-2007 по ТИ ВУ 100098867.269-2011 – D90					252,0
«Сыворотка молочная сухая деминерализованная» ТУ ВУ 100098867.219-2007 по ТИ ВУ 100098867.269-2011 – D70					372,0
«Пермеаты молочные сухие» ТУ ВУ 100098867.290-2012		43,0			
Продукт сухой сывороточный ТУ ВУ 200030514/098-2010 (разработан на основе Сыворотка сухая обогащенная лактатами ТУ ВУ 100098867.559-2008)		3203,0	5938,0	5949,0	5891,0
«Продукт молочно-жировой сухой» ТУ ВУ 100098867.257-2010		2730,7	434,5	0,5	
Вилейский филиал ОАО «Молодечненского молочного комбината»					
Творог с использованием нормализации молока ультрафильтрацией					1182,6
Произведено пермеата и направлено на нормализацию по белку					880,8
На оборудовании «Комплекс оборудования для производства пастообразных продуктов на молочной основе» Я23-ОДА ТУ ВУ 100098867.298-2012 выработано					86,5

ВЫВОДЫ ПО ШЕСТОЙ ГЛАВЕ

1. Показано, что комплексная технология переработки молока позволяет нивелировать разницу цен на различные группы продуктов переработки молока и обеспечить устойчивый постоянный уровень выручки молокоперерабатывающего предприятия. Установлено, что увеличение степени деминерализации молочной сыворотки позволяет увеличить общую выручку от продажи переработанной сыворотки до 1,5 раз без существенного увеличения капитальных и текущих затрат на ее переработку.

2. Разработаны технологические приемы, направленные на сокращение объемов получаемой сыворотки путем внедрения в технологические процессы производства йогурта, сыра, творога ультрафильтрационного концентрирования смесей по белку. Установлены пределы концентрирования смесей. При производстве казеина содержание белка в сырье, без ущерба для техпроцесса, может быть увеличено до 4,5-5,0 %, что соответствует фактору концентрирования 1,2-1,5. Для производства творога и сыра содержание белка в сырье, без изменения техпроцесса, может быть увеличено до 3,8-4,2 %, что соответствует фактору концентрирования 1,1-1,25. Для производства йогурта, продуктов типа «греческий йогурт», мягких сыров обезжиренное сухое вещество может составлять 9,5 % и более, что соответствует содержанию белка 4,5-5,0 % и более. Такого эффекта можно достичь, применяя ультрафильтрацию с фактором концентрирования 1,4-2,0 по белку.

3. Установлено, что основными направлениями использования получаемого при ультрафильтрации пермеата является нормализация по белку жидких, сгущенных и сухих молочных продуктов. Предложены формулы для технологического расчета массы пермеата, необходимого для внесения, в зависимости от требуемого уровня белка в готово продукте, даны методические рекомендации для их применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного системного анализа установлена необходимость создания единой системы переработки молочной сыворотки в Республике Беларусь, базирующейся на региональных производственных кластерах, что позволяет максимально полно использовать технологические возможности по развитию молокоперерабатывающей отрасли в направлении комплексной переработки и использования молочного сырья. При формировании кластеров целесообразно учитывать особенности переработки разнородного по своему составу сырья – переработку сладкой и кислых видов молочной сыворотки логистически или технологически следует разделять на отдельные производственные потоки. Выделены приоритетные направления технологических работ в сегментах кормовых и пищевых продуктов: сыворотка сухая различных типов, концентрат сывороточно жировой, заменители молока, ультрафильтрат (пермеат), меласса.

2. Разработана концепция технологических принципов, позволяющая снизить интенсивность термического воздействия на белковую фазу с максимальным сохранением нативных свойств молока, и обеспечивающая получение пищевых продуктов высоких потребительских качеств с минимальными затратами на их производство. Базис технологии – молоко сорта «экстра» с обязательным применением поточного охлаждения в процессе получения. Для снижения количества микроорганизмов, главным образом спорообразующих, обладающих повышенной термостойкостью, подтверждена эффективность бактофугирования и микрофльтрации. Процессы обеспечивают снижение КМАФАнМ в 4-10 раз, дрожжей в 2-10 раз, плесеней до 10 раз, и КМАФАнМ в 100-10000 раз, дрожжи и плесени практически полностью удаляются из продукта соответственно. Для предварительного концентрирования продуктов подтверждена целесообразность применения мембранных методов, для сгущения – вакуум-выпарных аппаратов поточного типа с падающей пленкой и пониженной до 60-65 °С температурой в первом корпусе. Обоснована решающая

роль соблюдения организационно-технических принципов монтажных работ и выполнения мероприятий по поддержанию санитарно-гигиенического благополучия технологического окружения и оборудования.

3. Установлены технические и технологические пределы применимости нанофильтрационной обработки: для подсырной при давлении 2,0 МПа предел концентрирования составляет 21,2 %, для творожной – 18,8 %. Определены физико-химические показатели продуктов нанофильтрационной обработки подсырной и творожной сыворотки. Показаны предельные уровни снижения зольности сывороток (уровень деминерализации) в процессе нанофильтрации: до 35 % для подсырной и до 28 % для творожной. Наряду с этим установлено существенное, до 20 %, снижение титруемой кислотности творожной сыворотки. Экспериментально установлено, что в течение первого часа работы нанофильтрационного оборудования производительность снижается до 70-85 % от уровня первоначальной, причем основная часть потерь приходится на первые 30 мин работы. Показана зависимость производительности установки от содержания сухих веществ в обрабатываемом сырье: при увеличении концентрации сухих веществ от 6,0 до 18,0 % производительность снижается в 6,5 раз.

4. Разработаны научно-практические основы коррекции минерального состава, базирующиеся на выявленных закономерностях электродиализной обработки подсырной, подсырной соленой, творожной сывороток. Определена кинематика и пределы изменения минеральной составляющей подсырной молочной сыворотки при электродиализной обработке, установлено снижение содержания фосфатов с 880 до 160 мг/дм³, хлора с 1640 мг/дм³ до следов, натрия с 680 до 60 мг/дм³, калия с 3150 до 440 мг/дм³, кальция с 536 до 182 мг/дм³, магния со 100 до 57 мг/дм³, а также микроэлементов при деминерализации от 0 до 90 % в динамике. Показано, что последовательное нанофильтрационное концентрирование и электродиализ позволяют осуществлять совместную переработку подсырной сладкой и соленой сывороток с получением продукта, отвечающего требованиям к сухой сыворотке, деминерализованной до 90 %.

Проведение однократной диафильтрации на этапе нанофильтрационного концентрирования смеси сывороток обеспечивает увеличение производительности электродиализной установки примерно на 5-7 %.

Установлен уровень белковой загрязненности мембран электродиализной установки 0,033-0,120 кг/м², представленной преимущественным отложением казеиновой фракции (до 80 %) при его содержании в обрабатываемом продукте до 30 %. При обработке смеси творожной сыворотки с обезжиренным молоком отложение осадка, включающего казеин, составило 0,130-0,140 кг/м². Доказана возможность использования концентрата солей после электродиализа в составе микроудобрений.

Выявлено, что существенную роль в процессе электродиализа мелассы играют органические соединения, прежде всего молочная кислота. Определены коэффициенты массозарядного переноса для мелассы в зависимости от глубины процесса: образец №1 – 16,4; 21,7; 22,8 мг/Кл; образец №2 – 14,0; 19,5; 23,1 мг/Кл для 1-го, 2-го и 3-го уровня соответственно, что позволяет оценить количество электричества, необходимое для деминерализации мелассы.

5. Изучена динамика процесса кристаллизации лактозы при сгущении молочной сыворотки, что позволило разработать новый способ непрерывной кристаллизации лактозы в последнем корпусе вакуум-выпарного аппарата циркуляционного типа при производстве сыворотки сухой кристаллизованной, заключающийся в обеспечении уровня пересыщения раствора более 1,1 и внесения затравки в поток циркулирующего в аппарате продукта.

6. В результате экспериментально-технологических исследований разработаны технологии производства напитков, паст, муссов, желе, базирующиеся на применение в качестве основного сырья молочной сыворотки. Определены технологические пределы применения сыворотки в рецептурах: при изготовлении напитков 7,5-10,0 %, муссов – до 15 %, желе – до 10 %. Экспериментально установлено, что рациональной дозировкой сухих микропартикулированных белков при производстве молочнобелковых низкожирных продуктов, обеспечивающей органолептические показатели

полножирных изделий и позволяющей позиционировать их для функционального питания, для мягких термокислотных сыров из обезжиренного молока является 2 % от массы молока при температуре пастеризации 92 °С, для творога традиционной консистенции – 1-2 %, для творожных продуктов мажущейся консистенции – до 3 %.

7. Создана система технологий кормовых продуктов на основе молочной сыворотки. Основным направлением переработки кислых видов сыворотки определено производство сыворотки сухой обогатщенной лактатами. Технологически доказано, что целесообразно проводить нейтрализацию кислых видов сыворотки после нанофльтрации, либо при подаче сгущенного продукта в емкости для кристаллизации. Рекомендуемый уровень раскисления рН – от 5,8 до 6,4 ед. Установлено, что кристаллизация раскисленной сыворотки происходит гораздо быстрее, и выдержка при низких температурах может привести к образованию плотной субстанции. Предложены формула и коэффициенты для практического определения количества раскисляющего агента.

8. Разработана технология производства сывороточно-жирового концентрата, основанная на процессе раскисления сыворотки, позволяющая производить основной компонент для производства ЗЦМ, в том числе и из кислых видов молочной сыворотки. Предложен ассортимент заменителей молока на основе продуктов переработки молока. Показано, что потребление ЗЦМ с белком молочного происхождения и растительного происхождения отличается незначительно. Увеличение содержания белка в ЗЦМ с 21 до 26 % приводит к увеличению привесов на 2-5%. Повышение содержания жира в ЗЦМ с 14 до 20 % приводит к увеличению средних привесов на 17,8 %.

9. Разработана технология получения пробиотической добавки «Биомикс-Вет» для использования в ЗЦМ и других кормовых продуктах, потребление которой телятами с кормом 2 раза в день по 10^8 жизнеспособных клеток лактобацилл и 10^8 бифидобактерий позволяет проводить профилактику желудочно-кишечные заболевания и восстанавливать микробиоценоз желудочно-кишечного тракта животных. Создана новая технология белковой кормовой

добавки для свиней на основе продуктов микробиологического синтеза, полученных при производстве бактериальных заквасок для молочной промышленности.

10. Разработаны технологические приемы, позволяющие сократить объемы получаемой сыворотки при производстве казеина, творога, сыра на 25-30 %, основанные на применении ультрафильтрации молока. Установлено, что при производстве казеина содержание белка в сырье, без ущерба для техпроцесса, может быть увеличено до 4,5-5,0 %, что соответствует фактору концентрирования 1,2-1,5. Для производства творога и сыра содержание белка в сырье, без изменения техпроцесса, может быть увеличено до 3,8-4,2 %, что соответствует фактору концентрирования 1,1-1,25.

Показано, что основными направлениями использования пермеата, получаемого при ультрафильтрации, является нормализация по белку жидких, сгущенных и сухих молочных продуктов. Предложены формулы для технологического расчета массы пермеата, необходимого для внесения в зависимости от требуемого уровня белка в готовом продукте, даны методические рекомендации для их применения.

Практическая значимость работы.

По результатам научных исследований, опытно-конструкторских и опытно-технологических разработок в РУП «Институт мясо-молочной промышленности» создан лабораторно-технологический комплекс, позволяющий проводить технологические исследования новых молочных пищевых и кормовых продуктов, отработку технологических режимов их производства, обучающие мастер-классы, что ускорило разработку и внедрение в промышленное производство современных методов и подходов к рациональному использованию продуктов переработки молока.

Оценка технико-технологической и экономической эффективности проведенных работ показала, что совокупность теоретических разработок и экспериментальных данных позволили создать систему инновационных

технологий переработки сыворотки, обеспечившую увеличение уровня ее переработки с 8,0 % в 2004 году до 83 % на 2015 год (в абсолютных цифрах с 77 тыс. т до 1888 тыс. т). Разработано и зарегистрировано 30 технических условий и 35 изменений к ним, 4 типовые технологические инструкции, 25 технологических инструкций и 21 изменение к ним, 2 технологических регламента по производству новых пищевых и кормовых продуктов переработки молока. Результаты исследований широко внедрены в производство более чем на 35 молокоперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь с объемами выпуска продукции более 59,7 млн. USD. Проведен полный цикл опытно-конструкторских работ по 9 образцам технологического оборудования, которым в ходе приемочных испытаний присвоена литера «О₁», оборудование эксплуатируется на Вилейском филиале ОАО «Молодечненский молочный комбинат», на молочно-товарной ферме СПК «Видомлянское» Брестской области. Практически на всех предприятиях, производящих сухую сыворотку, внедрены процессы нанофильтрации и кристаллизации. На основании разработанных технологий созданы новые производства по переработке сыворотки деминерализованной в Верхнедвинске, Хойниках и Осиповичах. Построен и введен в эксплуатацию цех по производству сывороточно-жирового концентрата в г. Иваново на ОАО «Березовский сыродельный комбинат».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

$\overline{y_{ij}}$ – средние значения показателя для каждой лаборатории для конкретного уровня;

$\frac{K_p}{100}$ – масса раскислителя, необходимая для снижения кислотности 1 кг сыворотки на 1°Т;

Δx_i – погрешность отдельного измерения;

Δx – доверительный интервал измерения (погрешности);

°С – градус Цельсия;

°Т – градус Тернера;

μ – молекулярная масса переносимого вещества;

AISI – American Iron and Steel Institute (американский железа и стали институт);

CIP – централизованная безразборная мойка;

COM – сухое обезжиренное молоко;

dm – масса вещества, перенесенная из продукта в концентрат в единицу времени;

dt – изменение времени;

F – критерий Фишера;

F – постоянная Фарадея 96485 Кл/моль;

G – критерий Граббса;

i – идентификатор для конкретной лаборатории;

$I(t)$ – функция, определяющая зависимость изменения силы тока, протекающего в установке, от времени;

ISO – International Organization for Standardization (международная организация по стандартизации);

j – идентификатор для конкретного уровня;

J_1, J_2, \dots, J_5 – проводимость соответственно для первого, второго, ..., пятого образцов;

k – коэффициент массозарядного переноса вещества;

L – межлабораторный;

m – общее среднее значение характеристики;

n – количество результатов испытаний, полученных в одной лаборатории на одном уровне;

n – повторность опытов;

p – количество лабораторий, участвующих в межлабораторном эксперименте;

Q – расход фильтрата через мембрану;

r – повторяемость;

R – предел воспроизводимости;

r – предел повторяемости;

R^2 – коэффициентом детерминации;

S – стандартное отклонение ячейки;

$S_{(\bar{x})}$ – среднеквадратичная ошибка среднего арифметического;

S_{ij} – стандартное отклонение ячейки

S_L^2 – межлабораторная дисперсия;

S_L^2 – межлабораторная дисперсия;

S_R – стандартное отклонение воспроизводимости;

S_r – стандартное отклонение повторяемости;

S_R^2 – дисперсия воспроизводимости;

S_R^2 – дисперсия воспроизводимости;

S_r^2 – дисперсия повторяемости;

S_r^2 – дисперсия повторяемости;

t – время процесса;

t – коэффициент Стьюдента;

u – оценка неопределенности;

U – расширенная неопределенность;

USD – доллары США;

V_p – выход продукта;

WPC – Whey protein concentrate (сывоточных белков концентрат);

\bar{x} – среднее значение измеряемой величины;

x_i – значение показателя для каждой лаборатории

x_i – измеренное значение величины;

z – электрохимическая валентность катиона (аниона);

δ – погрешность прибора;

λ – оптическая плотность;

А – ампер;

АК – первая колонна анионообменная, вторая катионообменная;

АПК – агропромышленный комплекс;

Бм – доля белка в исходном нормализуемом молоке;

Бп – доля белка в пермеате.

БПК – биологическое потребление кислорода;

Б_т – требуемая доля белка готового продукта;

В – вольт;

ВВУ – вакуумная выпарная установка;

г – грамм;

г. – год;

га – гектар;

Гкал – гигакалория;

ГОСТ – государственный стандарт;

гПа – гектопаскалей;

Гц – герц;

Д – дилуат (обрабатываемый продукт при электродиализе);

Да – дальтон;

ДМ – деминерализованная сыворотка;

ДСН – додецилсульфат натрия;

ед. – единиц;

ЗАО – закрытое акционерное общество;

ЗМ – заменитель молока;

ЗОМ – заменитель обезжиренного молока;

ЗЦМ – заменитель цельного молока;

К – концентрат (раствор. в который переносятся диссоциированные вещества при электродиализе);

$K_{1К}, K_{2К}, \dots, K_{5К}$ – соответственно концентрация лактат-ионов для первого, второго, ..., и пятого образцов;

КА – первая колонна катионообменная, вторая анионообменная;

кВт – киловатт;

кДа – килодальтон;

Кл – кулон;

КМ – комбинированный метод;

КМАФАНМ – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов;

КМЖ – концентрат молочно-жировой;

КОЕ – колониеобразующие единицы;

КПД – коэффициент полезного действия;

КРС – крупный рогатый скот;

КСБ-УФ – концентрат сывороточных белков, полученные методом ультрафильтрации;

м – метр;

М – молярность раствора;

МВИ – методика выполнения измерений;

МДСВ – массовая доля сухих веществ;

мин. – минута;

МК – молочный комбинат;

мкСм/см – проводимость;

мл – миллилитр;

млн. – миллионов;

M_m – масса нормализуемого молока;

мм – миллиметр;

МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты;

МО – молоко обезжиренное;

M_n – масса пермеата которую необходимо добавить к массе нормализуемого молока;

МПа – мега паскалей;

$M_{пр}$ – масса готового продукта;

M_c – масса исходного сырья;

МСЗ – масло-сыр завод;

мСм/см – проводимость;

$M_{\text{сыв}}$ – объем исходной сыворотки,

МУ – баромембранная установка;

НАН – Национальная академия наук;

НЖК – насыщенные жирные кислоты;

НПЦ – научно-практический центр;

НСБА – неденатурированного сывороточного белкового азота;

$НСР_{0,95}$ – наименьшее существенное различие;

НФ – нанофльтрация;

ОАО – открытое акционерное общество

ОМП – опытное машиностроительное производство;

отс. – отсутствует;

ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты;

P – доверительная вероятность;

pH – мера активности ионов водорода в растворе, количественно выражающая его кислотность;

руб. – рубль;

РУП – республиканское унитарное предприятие;

s – секунда;

СВ – сухие вещества;

$СВ_{\text{пр}}$ – содержание сухих веществ в готовом продукте;

$СВ_c$ – содержание сухих веществ в исходном сырье;

Символы, используемые в качестве подстрочных индексов:

$СИ_{\text{СВ}}$ – степень использования сухих веществ;

СК – сыворотка казеиновая;

СКДМ – сыворотка казеиновая деминерализованная;

СОМОм – сухой обезжиренный молочный остаток исходного нормализуемого молока;

СОМОп – сухой обезжиренный молочный остаток пермеата;

СПНФ – сыворотка подсырная наночистованная;

СПФ – сельскохозяйственная производственная ферма;

СССР – Союз Советский Социалистических Республик;

СТБ – стандарт Республики Беларусь;

сут. – сутки;

СЦМ – сухое цельное молоко;

Сыв. – сыворотка;

T – температура процесса;

t – тонн;

ТД – техническая документация;

ТИ ВУ (ТИ РБ) – обозначение технологических инструкций в Республике Беларусь;

T_k – целевая титруемая кислотность до которой необходимо раскислить сыворотку;

T_n – титруемая кислотность исходной сыворотки;

ТНПА – технический нормативный правовой акт;

ТУ ВУ (ТУ РБ) – обозначение технических условий в Республике Беларусь;

ТХУ – трихлорукусная кислота;

тыс. – тысяч;

УСД – условная степень деминерализации;

УФ – ультрачистовация;

УЭП – удельная электропроводимость;

ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие;

ФК – фактор концентрирования;

ФСД – фактическая степень деминерализации;

ХПК – химическое потребление кислорода;

ц – центнер;

ч – час;

ЭД – электродиализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Д.В. Метод гель-фильтрации растворимых сывороточных белков / Д.В. Абрамов, Ю.Я. Свириденко, А.Н. Толкачев, Е. Г. Овчинникова // Сыроделие и маслоделие. – 2011. – №5. – С. 42-43.
2. Арапов, В.М. Подготовка казеина к сушке / В.М. Арапов, Н.А. Воронцова, К.К. Полянский // Молочная промышленность. – 2003. – № 7. – С. 25-26.
3. Арапов, В.М. Влияние начальной влажности казеина на качество сушки / В.М. Арапов, К.К. Полянский, Н.А. Янпольская // Молочная промышленность. – 2003. – № 12. – С. 41-42.
4. Арсеньева, Т.П. Основные вещества для обогащения продуктов питания / Т.П. Арсеньева, И.В. Баранова // Пищевая промышленность. – 2007. – № 1 – С. 6-8.
5. Артюхова, С.И. Научно-экспериментальное обоснование новых биотехнологий симбиотических молочных продуктов: дис. ... д-ра техн. наук: 03.00.23 / Артюхова, Светлана Ивановна. – Улан-Удэ, 2006. – 433 с.
6. Архипенков, И. Микропартикуляция сывороточных белков открывает новые возможности при изготовлении сыра и других молочных продуктов / И. Архипенков // Пищевая промышленность. – 2007. – № 7. – С. 16-17.
7. Асланова, М.Н. Перспективы использования микропартикулята сывороточных белков / М.Н. Асланова, И.К. Куликов, И. А. Евдокимов, Д.Н. Володин, М.С. Золоторёва // Переработка молока. – 2014. – №5. – С.42-43.
8. Баранов, С.А. Установки микропартикуляции в современном молочном производстве / С.А. Баранов // Сыроделие и маслоделие. – 2012. – № 4. – С. 47.
9. Безуглов, Ю.И. Усовершенствование вакуум-аппарата пленочного типа / Ю.И. Безуглов, М.Я. Бурлев // Молочная и мясная промышленность. – 1988. – № 2. – С. 13-14.
10. Берговин, А.М. Мембранная фильтрация в молочной отрасли // Переработка молока. – 2009. – № 10. – С.28-30.
11. Биелик, Р. Пленочная ВВУ или модернизированный «Виганд»? / Р. Биелик, В. Трафимов, М. Головкина // Переработка молока. – 2012. – №11. – С. 52.

12. Биологически активная кормовая добавка для поросят: пат. 2 367 193 Рос. Федерации / В.И. Трухачев, В.Ф. Филенко, В.Н. Задорожная, Г.П. Стародубцева; дата публ.: 27.01.2009.
13. Богатырёва, Г.А. Научно разработанная рецептура – залог успешного использования заменителей цельного молока / Г.А. Богатырёва, Т.С. Пантюхина // Молочная промышленность. – 2005. – № 2. – С. 48-49.
14. Богданова, Е. В. Получение и применение модифицированной творожной сыворотки в технологии функциональных молочносодержащих продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.07 / Богданова Екатерина Викторовна. – Воронеж, 2011. – 24с.
15. Богуш, А.А. Ветеринарно-санитарная и биологическая оценка продуктов убоя животных при скармливании сыворотки гидролизованной, обогащенной лактатами (СГОЛ) / А.А. Богуш, Н.А. Урбанович, В.Е. Иванов, С.А. Лукьянчик, Н.С. Кошелева // Ветеринарная наука – производству. Научные труды. Вып. 33. – Минск, 1998. – С. 196-202.
16. Борунова, С.Б. Подбор компонентного состава питательной среды для получения бактериального концентрата болгарской палочки / Н.Н. Фурик, Н.В. Дудко // Пищевая промышленность: Наука и технология. – 2009. – № 1 (3). – С. 9-14.
17. Будрик, В.Г. Переработка творога: выбор оптимального оборудования / В.Г. Будрик // Переработка молока. – 2011. – №10. – С. 6-12.
18. Букин, Ф.Ф. Исследование влияния температуры стенки сушильной башни на интенсивность отложений сухого молока / Ф.Ф. Букин, В.А. Гусс, Н.С. Панасенков, Н.М. Безуглов // Молочная промышленность. – 1975. – № 11. – С. 21-23.
19. Букин, Ф.Ф. О чистоте обработки внутренней поверхности башни распылительных сушилок / Ф.Ф. Букин, В.А. Гусс, Н.С. Панасенков // Труды ВНИМИ. – М., 1972. – С. 21-25.
20. Булунд, Г. Технология казеина / Булунд Густа (Gysta Vylund); пер. А. П. Оценко // Отраслевые ведомости. Переработка молока. Информационный бюллетень, современные технологии и оборудование. – 2001. – № 10. – 84 с.
21. Бурлев, М.Я. Очистка сушильной установки / М.Я. Бурлев // Молочная промышленность. – 2009. – № 9. – С. 50-51.

22. Бурлев, М.Я. Предотвращение потерь продукта при распылительной сушке / М.Я. Бурлев // Молочная промышленность. – 2010. – № 4. – С. 40-41.
23. Бурлев, М.Я. Предотвращение потерь сухого молока при бункерном хранении / М.Я. Бурлев // Молочная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 82-83.
24. Бурлев, М.Я. Адгезия при распылительной сушке / М.Я. Бурлев // Молочная промышленность. – 2012. – № 1. – С. 79-80.
25. Бурькин, А.И. Некоторые расчеты к физической модели процесса гомогенизации / А.И. Бурькин // Молочная промышленность. – 2012. – № 3. – С. 18-19.
26. Бурькин, А.И. Ресурсосбережение при совершенствовании производств сухих молочных продуктов / А.И. Бурькин, В.Г. Будрик // Переработка молока. – 2015. – № 12. – С. 28-31.
27. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цефель. – М.: ДиаСофт, 2005. – 602 с.
28. Вестергаард, В. Технология производства сухого молока. Выпаривание и распылительная сушка / Вагн Вестергаард. – NiroA/S. Копенгаген, Дания. – 336 с.
29. Волкова, Т.А. Новый нормативный документ на сухую деминерализованную сыворотку / Т.А. Волкова // Переработка молока. – 2014. – № 3. – С. 20-22.
30. Волкова, Т.А. Перспективные направления переработки молочной сыворотки / Т.А. Волкова // Переработка молока. – 2014. – № 5. – С. 6-9.
31. Волкова, Т.А. Импортзамещающие технологии переработки молочной сыворотки / Т.А. Волкова // Переработка молока. – 2015. – № 5. – С. 24-26.
32. Волкова, Т.А. От истоков сывороточных рек / Т.А. Волкова // Переработка молока. – 2015. – № 8, 9, 11, 12. – С. 26-28, 40-42, 26-28, 42-45.
33. Володин, Д. Н. Ультрафильтрация молока – минимум усилий, максимум возможностей / Д.Н. Володин, М. В. Головкина, Г. С. Анисимов и др. // Переработка молока. – 2012. – № 7. – С. 48.

34. Вотинцев, Ю.П. Ультрафильтрация в производстве функционального творожного продукта / Ю.П. Вотинцев, Н.Б. Гаврилова, Н.Л. Чернопольская // Переработка молока. – 2014. – № 7. – С. 28–29.
35. Гаврилов, В.Г. Разработка и исследование технологии производства безлактозного молока: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Гаврилов Виктор Гаврилович – Кемерово, 2014. – 116 с.
36. Гаврилов, Г. Б. Современные аспекты переработки молочной сыворотки мембранными методами / Г.Б. Гаврилов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2004. – 160 с.
37. Гаврилов, Г. Б. Комплексная обработка сыворотки с целью создания продуктов нового поколения / Г. Б. Гаврилов // Молочная промышленность. – 2005. – № 12. – С. 42-43.
38. Гаврилов, Г.Б. Реологические свойства сывороточных белковых концентратов / Г.Б. Гаврилов // Молочная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 82.
39. Гаврилов, Г.Б. ЗЦМ на основе комбинированных сывороточных, молочно–белковых компонентов и пребиотиков: материал техн. информ / Г.Б. Гаврилов // Молочная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 95-96.
40. Гаврилов, Г.Б. Исследование и разработка технологий функциональных компонентов и пищевых продуктов на основе переработки молочной сыворотки мембранными методами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Гаврилов Гавриил Борисович. – Ярославль – Кемерово, 2006. – 319 с.
41. Гаврилов, Г.Б. Пути рационального использования сыворотки / Г.Б. Гаврилов, Э.Ф. Кравченко // Молочная промышленность. – 2012. – № 7. – С. 47-49.
42. Гаврилов, Г.Б. Пути рационального использования молочной сыворотки / Г.Б. Гаврилов, Э.Ф. Кравченко // Сыроделие и маслоделие. – 2013. – № 2. – С. 10-13.
43. Гаврилов, Г.Б. Справочник по переработке молочной сыворотки. Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование / Г.Б. Гаврилов, А.Ю. Просеков, Э.Ф. Кравченк, Б.Г. Гаврилов. – СПб: ИД Профессия, 2015. – 176 с.
44. Гаврилова, Н.Б. Производство молочных продуктов мембранными технологиями / Н.Б. Гаврилова // Молочная промышленность. – 2008. – №11. – С. 47-48.

45. Ганина, В.И. Пробиотики. Назначение, свойства и основы биотехнологии / В.И. Ганина. – М.: МГУПБ, 2001. – 169 с.
46. Гапонова, Л.В. Физиологические аспекты создания заменителя цельного молока / Л.В. Гапонова, Т.Т. Логвинова и др. // Молочная промышленность – 2005. – №5. – С. 77-78.
47. Гауровиц, Ф. Химия и функция белков / Ф. Гауровиц. – М.: Мир, 1965. – 530 с.
48. Гельферих, Ф. Иониты: основы ионного обмена / Ф. Гельферих. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. – 490 с.
49. Гераймович, О.А. Отечественные вакуум-выпарные аппараты с падающей пленкой / О.А. Гераймович, П.В. Карцев, К.В. Квашнин // Переработка молока. – 2013. – №12. – С.16-17.
50. Гинзбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 664 с.
51. Гладик, Ю. Современное технологическое оборудование – главное конкурентное преимущество / Ю. Гладик, В. В. Мурашов // Молочная промышленность. – 2014. – №3. – С.12-13.
52. Голованева, Н.В. Особенности механизма и влияние основных технологических параметров на характеристики нанофильтрационных мембран: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.18 / Голованева Надежда Викторовна. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – 156 с.
53. Голубева, Л.В. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока / Л.В. Голубева. – Москва ДеЛи принт, 2005. – 376 с.
54. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов / К. К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 346 с.
55. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов: учебник / К.К. Горбатова, П.И. Гунькова. – СПб.: ГИОРД, 2010. – 336 с.
56. Гордезиани, В.С. Производство заменителей цельного молока / В.С. Гордезиани. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.

57. Гордиенко, Л.А. Перспективы использования концентратов сывороточных белков в технологиях пищевых продуктов / И.А. Евдокимов, М.С. Золоторева, А.Г. Скороходов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2008. – №2. – С. 18-21.
58. Гордиенко, Л.А. Разработка технологии кисломолочных напитков с использованием концентрата сывороточных белков, полученного методом ультрафильтрации: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Гордиенко Людмила Александровна. – Ставрополь, 2010. – 193 с.
59. Грановский, В.Я. Двухступенчатая сушка молока на форсуночной распылительной установке: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.12 / Грановский Вадим Яковлевич. – М., 1984. – 24 с.
60. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
61. Гребенюк, В.Д. Электродиализ / В.Д. Гребенюк. – Киев: Техніка, 1976. – 160 с.
62. Грязнева, Т.Н. Применение пробиотика Биод-5 в рационах кормления поросят-отъемышей / Т.Н. Грязнева // Зоотехния. – 2005. – № 8. – С. 15.
63. Гудков, А.В. Взаимодействие молочнокислых палочек и маслянокислых бактерий, вызывающих порчу сыра. / А.В. Гудков, К.П. Алексеева // Молочная промышленность. – 1970. – № 1. – С. 25.
64. Гуца, Ю.М. Энергоэффективность вакуум-выпарных установок / Ю.М. Гуца // Молочная промышленность. – 2014. – №3. – С.29-30.
65. Дзюба, В.А. Планирование многофакторных опытов и методы статистической обработки экспериментальных данных: метод. рекоменд. / Б.Н. Шмелев // Мин. сел. хоз. РФ, рос. акад. с/х наук, Кубан. гос. аграр. унн, Всерос. науч.-исслед. Ин-т риска Краснодар. – 2004. – 83 с.
66. Донская, Г.А. Технологии обогащения молочных продуктов натуральными ингредиентами / Г.А. Донская, М.В. Кулик // Переработка молока. – 2007. – №5. – С. 42-45.
67. Донской, Н. С. Разработка ресурсосберегающей биотехнологии концентратов молочной сыворотки с регулируемым углеводным и аминокислотным

- составом: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.07 / Донской Никита Сергеевич. – Ставрополь, 2010. – 123 с.
68. Доронин, А.Ф. Функциональное питание / А.Ф. Доронин, Б.Ф. Шендеров. – М. ГРАНТЬ. – 2002. – 296 с.
69. Духин, С.С. Электрофорез / С.С. Духин, Б.В. Дерягин. – М.: Наука, 1976. – 327 с.
70. Дыкало, Н.Я. Диафильтрация творожной сыворотки в процессе нанофильтрации / Н. Я. Дыкало, Е. А. Фиалкова // Сыроделие и маслоделие = Cheesemaking & buttermaking: научно–технический и производственный журнал. – 2013. – № 2. – С. 26-27.
71. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
72. Дэвени, Т. Аминокислоты, пептиды и белки / Т. Дэвени, Я. Гергей. – Москва: Изд-во: «Мир», 1976. – 368 с.
73. Евдокимов, И.А. Деминерализация подсырной соленой сыворотки методом электродиализа: материал технической информации / И.А. Евдокимов, Н.Я. Дыкало, Д.Н. Володин // Молочная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 28-29
74. Евдокимов, И.А. Научно-технические основы интенсивной технологии молочного сахара: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Евдокимов Иван Алексеевич. – М., 1997. – 49 с.
75. Евдокимов, И.А. Обработка молочного сырья мембранными методами / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.М. Головкина, М.С. Золотарева и др. // Молочная промышленность. – 2012. – №2. – С. 34-37.
76. Евдокимов, И.А. Процессы и методы переработки молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, В.В. Червецов, Т.А. Яковлева // Переработка молока. – 2007. – №12. – С. 30-32.
77. Евдокимов, И.А. Пути решения импортозамещения молочной продукции. Продукты из молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, Б.В. Чаблин, М.С. Золотарева, Д.Н. Володин // Переработка молока. – 2015. – №3. – С.10-14.

78. Евдокимов, И.А. Реальные мембранные технологии / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, М.С. Золотарева, А.П. Поверин // Молочная промышленность. – 2010. – № 1. – С. 26-28.

79. Евдокимов, И.А. Современные методы мембранной обработки молочной сыворотки на централизованном предприятии / И.А. Евдокимов // Переработка молока. – 2012. – №4. – С.34-36.

80. Евдокимов, И.А. Современное состояние переработки молочной сыворотки / И. А. Евдокимов, А. Г. Храпцов, П. Г. Нестеренко // Молочная промышленность. – 2008. – №11. – С. 36-40.

81. Евдокимов, И.А. Сочетание нанофильтрации и электродиализа при переработке молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, В.А. Барсуков, И.К. Куликова, Д.Н. Володин и др. / Ионный перенос в органических и неорганических мембранах: материалы Рос. конф. с международным участием. – Краснодар: КубГУ, 2008. – С. 102-103.

82. Евдокимов, И.А. Творог и творожные изделия с молочной сывороткой и ее компонентами / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, В.А. Михнева, М.С. Золотарева и др. // Молочная промышленность. – 2011. – №11. – С. 62-63.

83. Евдокимов, И.А. Экспортоориентированная система производства молочных продуктов – взгляд изнутри / И.А. Евдокимов // Переработка молока. – 2015. – №10-11. – С.12-15, 14-18.

84. Евдокимов, И.А. Электродиализ молочной сыворотки / И.А. Евдокимов, Н.Я. Дыкало, А.В. Пермьяков. – Георгиевск: ГТИ (филиал) СевКавГТУ, 2009. – 248 с.

85. Евелева, В.В. Лактатсодержащие добавки в технологиях переработки молока / В.В. Евелева, П.А. Забодалова, А.П. Рублев // Молочная промышленность. – 2007. – № 10. – С. 51-52.

86. Ельчанинов, В.В. Некоторые технологические аспекты получения сывороточных белков коровьего молока / В.В. Ельчанинов, А.Д. Коваль, А.Н. Белов // Молочная промышленность. – 2015. – № 2. – С. 40-41.

87. Жаринов, А.И. Бинарные системы на основе ксантана: влияние конжака / А.И. Жаринов, О.Н. Антонова, Е.А. Кондратенко // Молочная промышленность. – 2010. – №10. – С. 56-57.
88. Забодалова, Л.А. Функциональные пищевые продукты – путь к здоровью / Л.А. Забодалова // Переработка молока. – 2006. – № 11. – С. 8-11.
89. Заболоцкий, В.И. Перенос ионов в мембранах / В.И. Заболоцкий, В.В. Никоненко. – М.: Наука, 1996. – 392 с.
90. Залашко, М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки / М.В. Залашко – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
91. Зобкова, З.С. Пищевые вещества, формирующие консистенцию и новые свойства молочных продуктов / З.С. Зобкова, Т.П. Фурсова // Молочная промышленность. – 2007. – №10. – С. 18-19.
92. Зобкова, З.С. Функциональные цельномолочные продукты / З.С. Зобкова // Молочная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 46-52.
93. Золотарев, М.С. Электродиализ – неотъемлемая часть технологии молочной сыворотки / М.С. Золотарева, Д.Н. Володин, В.К. Топалов // Молочная промышленность. – 2014. – №2. – С.30-31.
94. Золоторева, М.С. Мембранные процессы в молочной промышленности – эффективно, современно, надежно / М.С. Золоторева [и др.] // Сыроделие и маслоделие. – 2012. – № 4. – С. 70-73.
95. Золоторева, М.С. Электродиализ – наиболее эффективный процесс деминерализации молочной сыворотки / М.С. Золоторева, Д.Н. Володин, А.С. Бессонов, В.К. Топалов // Молочная промышленность. – 2014. – №3. – С.37-38.
96. Капнин, Р. Шрот и жмых в кормлении свиней / Р. Капнин // Кормопроизводство. – 2000. – № 2. – С. 24-26.
97. Карпенко, Л.А. Перспективы развития молочной промышленности Украины / Л.А. Карпенко // Переработка молока. – 2012. – №11. – С.40-43.
98. Каталог продукции [Электронный ресурс] / ЗАО «РМ Нанотех». – г. Владимир, 2010–2014. – Режим доступа: <http://www.rmnanotech.ru/>. – Дата доступа: 14.08.2014 г.

99. Квасников, Е.И. Молочнокислые бактерии и пути их использования / Е.И. Квасников, О.А. Нестеренко. – М., Наука, 1975. – 284 с.
100. Квасюк, Е.И. Методы структурной биологии в изучении функции белков: практикум / Е.И. Квасюк, С.Б. Бокуть. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 84 с.
101. Кисилев, Я.С. Определение индукционного периода при самовозгорании сухого молока / С.В. Киселев, Т.А. Фиалков // Молочная промышленность. – 1973. – № 10. – С. 26-27.
102. Климова, М.Л. Обоснование размеров и структуры ассортимента по производству молочной продукции с использованием экономико–математического моделирования / М.Л. Климова // Пищевая промышленность: Наука и технологии. – 2008. – №1. – С. 73-78.
103. Ключиков, А.И. Инновационные методы обработки молочного сырья / А.И. Ключиков, К.К. Полянский, А.Н. Пономарев // Переработка молока. – 2012. – №1. – С. 16-19.
104. Коденцова, В.М. Обоснование уровня обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами / В.М. Коденцова [и др.] // Вопросы питания. – 2010. – Т. 79. – № 1. – С. 23-33.
105. Козлов, С.Г. Гелеобразующая добавка для структурированных молочных продуктов / С.Г. Козлов, А.Е. Просеков, А.С. Сорочкина // Молочная промышленность. – 2004. – № 8. – С. 29-30.
106. Козлов, С.Г. Многокомпонентные желированные продукты / С.Г. Козлов, Л.И. Вождяева // Молочная промышленность. – 2003. – № 7. – С. 22.
107. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных (состав и применение): справочник / В.А. Крохина (ред.) [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.
108. Кондаков, В.Н. Пневматический и гидравлический транспорт в пищевой промышленности / В.Н. Кондаков, М.М. Коробов, Н.Г. Грицук, Н.М. Доценко. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 184 с.
109. Кормовая добавка для молодняка свиней: пат. 2 359 465 Рос. Федерации / Д.С. Учасов, О.Н. Фролова; дата публ.: 27.06.2009.

110. Кормовая добавка для поросят подсосного периода: пат. 2 342 851 Рос. Федерации / В.И. Трухачев; дата публ.: 09.08.2007.
111. Кормовая добавка для свиней и способ кормления свиней: пат. 2 319 391 Рос. Федерации / В.Е. Широков, В.Н. Бондаренко, А.А. Овчинников; дата публ.: 20.03.2008.
112. Кормовая добавка для сельскохозяйственных животных: пат. 2 115 330 Рос. Федерации. / А.Б. Лисицын, А.И. Сницарь, Л.И. Стекольников, В.В. Евстафьев; дата публ.: 20.07.1998.
113. Косой, В.В. Реология молочных продуктов (полный курс) / В.В. Косой, Н.И. Дунченко, М.И. Меркулов // Учебн. – М.: ДеЛи принт, 2010. – 567 с.
114. Кочеткова, А.А. Синергизм в растворах гидроколлоидов / А.А. Кочеткова // Переработка молока: технология, оборудование, продукция. – 2006. – № 11. – С. 26-27.
115. Красильников, В.Н. Проблемы синергизма пищевых добавок / В.Н. Красильников // Масла и жиры. – 2007. – № 9. – С. 6-8.
116. Красноштанова, А.А. Молекулярное распределение белков при ультраконцентрировании сыворотки / А.А. Красноштанова, В.Г. Попов, О.В. Рытченкова // Молочная промышленность. – 2010. – № 7. – С.60-61.
117. Кроль, Я. Деминерализация сыворотки и пермеатов после ультрафильтрации / Я. Кроль // Переработка молока. – 2015. – № 2. – С.10-11.
118. Крусь, Г.Н. Методы исследования молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусь, А.М. Шалыгина, З.В. Волокитина. – М.: Колос, 2000. – 368 с.
119. Кузина, Ж.И. Инструкция по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях молочной промышленности / Ж.И. Кузина, Б.В. Маневич. – Торжок: АО «Формат», 1998. – 108 с.
120. Кузина, Ж.И. Санитарная обработка мембранного оборудования / Ж.И. Кузина, Б.В. Маневич, Е.Б. Маневич // Сыроделие и маслоделие. – 2010. – № 6. – С. 41-43.
121. Кузнецов, П.В. О выборе оборудования для сушки молока и сыворотки / П. В. Кузнецов, В. Т. Габрилова, П. Мертин // Молочная промышленность. – 2015. – №3. – С. 34-37.

122. Кук, Г. А. Пастеризация молока / Г.А. Кук. – Калуга: Тип. им. Воровского, Госпланиздат, 1951. – 240 с.
123. Кулев, Д.Х. Фосфаты, цитраты и лактаты в молочных продуктах / Д.Х. Кулев // Переработка молока. – 2007. – № 10. – С. 45-47.
124. Куленко, В. Г. Нанофильтрация молочной сыворотки / В.Г. Куленко, Н.Я. Дыкало, Л.Н. Малек, Д.М. Костюков // Переработка молока. – 2011. – №3. – С.20-21.
125. Кунижев, С. М. Новые технологии в производстве молочных продуктов / С. М. Кунижев, В. А. Шуваев – М.: ДеЛи принт, 2004. – 203 с.
126. Лабинов, В.В. Потенциальные возможности и перспективы развития рынка молока и молочных продуктов в России / В.В. Лабинов // Молочная промышленность. – 2010. – № 7. – С. 6-8.
127. Лактоза и ее производные / Б.М. Синельников [и др.]; науч. ред. А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2007. – 768 с.
128. Левераш, В.И. Вакуум-выпарное оборудование для сгущения молока / В.И. Левераш // Молочная промышленность. – 1974. – № 6. – С. 12-15.
129. Ли, В. Использование ЗЦМ – залог успешного выращивания молодняка / В. Ли // Молочная промышленность. – 2003. – № 4. – С. 65-66.
130. Линд, Р.М. Влияние смеси молочной ферментированной сыворотки СТОЛ-1-40 («Сгидолак») и стерилизованного молока на течение экспериментального туберкулеза / Р.М. Линд // Вопросы питания. – 2000. – № 2. – С. 50-52.
131. Линд, А.Р. СГОЛ / А.Р. Линд, Р.М.Линд. – М.:ООО «СГОЛ–холдинг», 2002. – 15 с.
132. Линд, А.Р. Исследование пищевой ценности и безопасности ферментативно-гидролизованной молочной сыворотки, обогащенной лактатами: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Линд, Александр Робертович. – М., 1996. – 21 с.
133. Липатов, Н.Н. Формализованный анализ аминокислотной и жирокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью / Н.Н. Липатов, Г.Ю. Сажинов, О.Н. Баширов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – №8. – С.11-14.

134. Липатов, Н.Н. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов / Н. Н. Липатов, В. А. Марьин, Е. А. Фетисов. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 168 с.
135. Липатов, Н.Н. Перспективы совершенствования качества продуктов питания для детей / Н. Н. Липатов, Г. Ю. Сажинов // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – 2001. – № 1. – С. 25-27.
136. Липатов, Н. Н. Предпосылки компьютерного проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью / Н. Н. Липатов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1995. – № 3. – С. 4-9.
137. Липатов, Н.Н. Совершенствование методики проектирования биологической ценности пищевых продуктов / Н. Н. Липатов, А. Б. Лисицын, С. Б. Юдина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1996. – № 2. – С. 24-25.
138. Липатов, Н.Н. Экология молока и молочных продуктов / Н.Н. Липатов // Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1991. – 69 с.
139. Липатов, Н.Н. Принципы проектирования состава и совершенствования технологии многокомпонентных мясных и молочных продуктов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Липатов Никита Николаевич. – М., 1988. – 56 с.
140. Липатов, Н.Н. Сухое молоко. Теория и практика производства. / Н.Н. Липатов, В.Д. Харитонов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 264 с.
141. Лобасенко, Б.А. Ультрафильтрация молока и молочных продуктов / Б.А. Лобасенко, Р.Б. Лобасенко. – Кемерово: КемТИПП, 2006. – 117 с.
142. Лодыгин, А.Д. Разработка инновационных технологий пребиотических концентратов на основе вторичного молочного сырья: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Лодыгин Алексей Дмитриевич. – Ставрополь, 2012. – 332 с.
143. Лурье, М.Ю. Сушильное дело / М.Ю. Лурье. – М.: Госэнергоиздат, 1978. – 711 с.
144. Лыков, М.В. Распылительные сушилки / А.В. Лыков, Б.И. Леончик. – М.: Машиностроение, 1966. – 336 с.
145. Лялин, В.А. Классификация и математическое моделирование режимов ультрафильтрации / В.А. Лялин, В.М. Старов, А.Н. Филиппов // Химия и технология

воды. – 1990. – Т. 12. – № 5. – С. 387-393.

146. Макеева, И.А. Национальная стандартизация в молочной отрасли / И.А. Макеева, Д.Е. Генова, Ж.И. Смирнова // Молочная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 21.

147. Максимов, А.С. Реология пищевых продуктов. Лабораторный практикум / А.С. Максимов, В.Я. Черных // Учебн. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 176 с.

148. Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / Дж. Мартино; пер. с англ. под общ. ред. В.И. Максименко. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.

149. Мелещеня, А.В. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятий молочной отрасли Минсельхозпрода Республики Беларусь за 2007 год / А.В. Мелещеня, М.Л. Климова, Л.Н. Денисова. – Минск: Ин-т мясо-молочной промышленности, 2008. – 150 с.

150. Мелещеня, А.В. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятий молочной отрасли Минсельхозпрода Республики Беларусь мониторинг 2009 / А.В. Мелещеня, М.Л. Климова. – Минск : Ин-т мясо-молочной промышленности, 2010. – 222 с.

151. Мелещеня, А.В. Научное сопровождение мясо-молочной промышленности Республики Беларусь / А.В. Мелещеня // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2015. – №1(27). – С. 67-74.

152. Мельникова, Е.И. Плавленый сыр с микропартикулятом сывороточных белков / Е.И. Мельникова, Н.А. Подгорный, Е.Б. Станиславская // Сыроделие и маслоделие. – 2011. – № 1. – С. 10-11.

153. Мельникова, Е.И. Применение функциональных молочных белков в технологии мороженого / Е.И. Мельникова, А.Н. Пономарев, Е.Е. Попова // Молочная промышленность. – 2012. – № 12. – С. 64-65.

154. Мельникова, Е.И. Творожная сыворотка: опыт переработки и новые технологические решения / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская, Л.В. Голубева. – Воронеж, 2009. – 236 с.

155. Мельникова, Е.И. Имитатор молочного жира для синбиотических продуктов / Е.И. Мельникова, Н.А. Подгорный, Е.Б. Станиславская // Молочная

промышленность. – 2010. – № 7. – С. 55-56.

156. Мельникова, Е.И. Низкокалорийное мороженое с микропартикулятом сывороточных белков / Е.И. Мельникова, Е.Е. Попова, Е.Б. Станиславская // Пищевая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 60-61.

157. Мельникова, Е.И. Синбиотический продукт на основе микропартикулята сывороточных белков / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская, Н.А. Подгорный, Е.В. Чунослова // Сыроделие и маслоделие. – 2010. – №6. – С. 24-26.

158. Методика по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии: МВИ.МН 1363-2000: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 14.07.2000. – Минск, 2000. – 16 с.

159. Молоко: коллективная монография / подг. к печ. О.Б. Федотова, О.В. Соколова. – М.: Издательский дом «Типография» РАН, 2015. – 480 с.

160. Моргунова, Т.О. Средства для мойки ультрафильтрационных мембран / Т.О. Моргунова, Ж.И. Кузина, Н.В. Павлова // Молочная промышленность. – 1985. – № 2. – С. 16-17.

161. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. – М.: Мир, 1999. – 513 с.

162. Нестеренко, П.Г. Комплексное использование компонентов молочной сыворотки / П.Г. Нестеренко, А.Г. Храпцов, И.А. Евдокимов, С.А. Рябцева, А.Д. Лодыгин // Молочная промышленность. – 2014. – №1. – С. 66-67.

163. Нечаев, А.П. Пищевые добавки / А.П. Нечаев, А.А. Кочеткова, А.Н. Зайцев – М.: Колос, Колос-Пресс, 2002. – 256 с.

164. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А.П. Калашников [и др.]. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Россельхозакадемия, 2003. – 456 с.

165. О безопасности молока и молочной продукции. Технический регламент Таможенного союза: ТР ТС 033/2013. – Введ. 01.05.14. – Минск: Госстандарт: белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. – 190 с.

166. Остерман, Л.А. Хроматография белков и нуклеиновых кислот / Л.А. Остерман. – М.: Наука, 1985. – 536 с.

167. Остроумов, Л.А. Удаление минеральных элементов из концентратов сывороточных белков: материал технической информации / Л.А. Остроумов, Г.Б. Гаврилов // Молочная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 82.
168. Остроумов, Л.А. Состав и свойства ультрафильтрационных концентратов сывороточных белков / Л.А. Остроумов, Г.Б. Гаврилов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 5. – С. 48-49.
169. Остроумов, Л.А. О составе и свойствах молочной сыворотки: материал технической информации / Л.А. Остроумов, Г.Б. Гаврилов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 8. – С. 47- 48.
170. Панфилов, В.А. Технологические линии пищевых производств: создание технологического потока / В.А. Панфилов. – М.: Пищевая промышленность, 1996. – 472 с.
171. Поджарая, К.С. О загрязнении молока-сырья и доильного оборудования / К.С. Поджарая // Переработка молока. – 2014. – №4. – С.56-57.
172. Позняковский, В.М. Гигиенические основы питания, качество и безопасность пищевых продуктов : учебник / В.М. Позняковский. – 5-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. – 480 с.
173. Позняковский, В.М. Пищевые и биологически активные добавки / В.М. Позняковский, А.Н. Австриевских, А.А. Вековцев. – Москва–Кемерово: Изд. об-ние «Российские университеты», 2004. – 243 с.
174. Полянский, К.К. Деминерализация молочной сыворотки электродиализом / К.К. Полянский, В.А. Шапошник, А.Н. Пономарев // Молочная промышленность. – 2004. – № 10. – С. 48-49.
175. Полянский, К.К. Мембранные методы в производстве лактата кальция из молочной сыворотки / К.К. Полянский [и др.] // Биотехнология. – 2000. – № 2. – С.37-41.
176. Пономарев, А.Н. Микропартикулированные сывороточные белки в технологии симбиотических продуктов / А.Н. Пономарев, Н.А. Подгорный, Е.И. Мельникова, А.Н. Лосев // Молочная промышленность. – 2013. – № 7. – С.62-63.
177. Пономарева, Н.В. Получение гидролизата β -лактоглобулина со сниженной остаточной антигенностью: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Пономарева Неля Валерьевна. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2015. – 184 с.

178. Полянский, К.К. Применение обратного осмоса в молочной промышленности / К.К. Полянский, В.И. Долниковский // Обзорная информация. Сер. Молочная промышленность. – М.:АгроНИИТЭИММП, 1990. – 48 с.
179. Применение методов ультрафильтрации для обработки творожной сыворотки: обзор. инф. / В. А. Павлов [и др.]. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1986. – 28 с.
180. Пронина, О.В. Современное состояние переработки молочной сыворотки / О.В. Пронина, К.К. Полянский // Переработка молока. – 2015. – № 5. – С. 30-31.
181. Пустыльник, Е.Г. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.Г Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
182. Пуха, И. Молочные корма для свиней / И. Пуха // Свиноводство. – 1999. – № 1. – С. 13.
183. Радаева, И.А. Влияние тепловой обработки молока на качество молочных консервов / И.А. Радаева // Молочная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 42-44.
184. Радаева, И.А. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока / И.А. Радаева, В.С. Гордезиани, С.П. Шулькина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 350 с.
185. Радчиков, В.Ф. Рациональное использование молочной сыворотки / В.Ф. Радчиков, А.Н. Кот. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 86 с.
186. Радчиков, В.Ф. Использование заменителей цельного молока в кормлении телят (рекомендации) / В. Ф. Радчиков, А. Н. Кот. – Жодино, 2006. – 11 с.
187. Разработка пробиотического препарата на основе ультрафильтрата культуральной жидкости / Е.И. Молохова [и др.] // Бюл. сибир. медицины. – 2006. – №1 . – С. 111–112.
188. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Количественное описание неопределённости в аналитических измерениях. – 2-е издание, 2000, перевод с англ. Р.Л. Кадиса, Г.Р. Нежиховского, В.Б. Симины; под общей ред. Л.А. Конопелько. – СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2002. – 65 с.
189. Свитцов, А.А. Введение в мембранные технологии / А. А. Свитцов. – М.: ДеЛи Принт, 2007. – 208 с.

190. Семенихина, В.Ф. Питательная среда для накопления биомассы бифидобактерий / В.Ф. Семенихина, М.Б. Сундукова, Е.А. Хорькова // Молочная промышленность. – 1985. – № 6 – С. 36-40.
191. Семенов, А.Г. Мембранные методы в технологии продуктов на основе молока и молочной сыворотки / А.Г. Семенов, Б.А. Лобасенко. – Кемерово: КемТИПП, 2014. – 147 с.
192. Семенов, А.Г. Совершенствование технологии переработки молочного сырья на основе интенсификации мембранных процессов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Семенов Андрей Германович. – Кемерово: КемТИПП, 2014. – 374 л.
193. Семенных, Л. Использование пищевых отходов / Л. Семенных, С. Потапенко // Свиноводство. – 1999. – № 3. – С. 26–27.
194. Сенкевич, Т. Молочная сыворотка: Переработка и использование в агропромышленном комплексе / Т. Сенкевич, К.-Л.Ридель. – М.: Агропромиздат, 1989. – 269 с.
195. Синельников, Б.М. Лактоза и ее производные / Б. М. Синельников, А.Г. Храмов, И.А. Евдокимов и др. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 768 с.
196. Система научного и инженерного обеспечения пищевых и перерабатывающих отраслей АПК России / А.Н. Богатырев [и др.]. – М.: Пищевая промышленность, 1995. – 528 с.
197. Скоков, В.А. Новая линия по производству сухой жирной сыворотки / В.А. Скоков // Переработка молока. – 2011. – №10. – С.52-53.
198. Скотт, Р. Производство сыра. Сырье, технология, рецептура / Р. Скотт, Р.К. Робинсон, Р.А. Уилби. – С.-Пб.: Профессия, 2005. – Р.276-278.
199. Скоупс, Р. Методы очистки белков: Пер. с англ. / Р. Скоупс. – М.: Мир, 1985. – 358 с.
200. Смирнова, И.А. Использование микропартикулированных сывороточных белков в молочных продуктах / Е.М. Лобачева, А.Д. Гулбани // Молочная промышленность. – 2014. – №6. – С. 28-31.
201. Смирнова, И.А. Стуженные нежирные молочные консервы с сахаром с микропартикулированными сывороточными белками / И.А. Смирнова, С.В. Маньков,

Е.Е. Румянцева // Молочная промышленность. – 2009. – № 10. – С. 62.

202. Сова, В.В. Выделение и очистка белков. Методическое пособие по курсу «Химия и биохимия белков и ферментов» / В.В. Сова, М.И. Кусайкин. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2006. – 42 с.

203. Способ переработки отходов пивоваренного производства (варианты): пат. 2 215 426 Рос. Федерации / А.Д. Рекало, А.В. Иванов; дата публ.: 10.11.2003.

204. Способ переработки спиртовой барды: пат. 2 259 394 Рос. Федерации / В.Т. Кравченко, А.А. Антонюк, Л.А. Воропанова, Э.А. Головской, Т. Я. Харебова; дата публ.: 27.08.2005.

205. Способ получения сухого пробиотического препарата: пат. 5 015 484/13 Рос. Федерации / В.Б. Зинченко, И. М. Нахибин, Ю.П. Падерин, В.В. Перельгин, В.Д. Похиленко; дата публ.: 20.08.1996.

206. Способ приготовления жидкого корма из послеспиртовой барды и сои: пат. 2 268 609 Рос. Федерации / В.К. Бряков, Е.А. Гартованная; дата публ.: 27.01.2006.

207. Способ приготовления кормовой добавки: пат. 2 186 497 Рос. Федерации / В.И. Терехов, С.Н. Тельнов, А.Н. Марков; дата публ.: 10.08.2002.

208. Способ приготовления низкокалорийного мороженого: пат. 2466551 Рос. Федерации, МПК 7 А 23 G 9/04 / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская, Е.Е. Ходасевич (Попова); дата публ.: 20.11.2012.

209. Способ приготовления продукта, имитирующего сливки: пат. 2422030 Рос. Федерации, МПК 7 А 23 С 23/00. / Е.И. Мельникова, Н.А. Подгорный, Е.Б. Станиславская; дата публ.: 27.06.2011.

210. Способ производства белково-витаминного кормового продукта из отходов пивоварения: пат. 2 396 006 Рос. Федерации / А.В. Виноградова, С.Б. Корепанов, С.В. Токписев; дата публ.: 10.08.2010.

211. Способ сушки суспензии послеспиртовой барды и установка для его осуществления : пат. 2 128 688 Рос. Федерации / Э.Л. Ламм, А.М. Волчек, Г.В. Галкина, С.И. Гдалин, Г.В. Епифанов, В.И. Илларионова, Б.Р. Овсищев, Н.А. Баер, Б.А. Устинников; дата публ.: 10.04.1999.

212. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Том 5 – Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, С.В. Василюшин. – Санкт – Петербург: ГИОРД, 2004. – 738 с.
213. СТБ ИСО 5725-(1-6)-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1-6.
214. Твердохлеб Г.В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, Р.И. Раманаускас. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 360 с.
215. Твердохлеб, Г.В. Технология молока и молочных продуктов / Г.В. Твердохлеб, Г.Ю. Сажинов, Р.И. Раманаускас. – М.: ДеЛиПринт, 2006. – 616 с.
216. Тепел, А. Химия и физика молока / А. Тепел. (Пер. с нем. 3 изд. 2004 г. под ред. канд. техн. наук С.Н. Фильчаковой) – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.
217. Тетра Пак. Технология производства молочных продуктов. Справочник. Tetra Pak Processing Systems AB / текст Гаста Байланд. Пер. А. Бирюков, О. Куркина. – М.: ЗАО «Тетра Пак», 2010. – 440 с.
218. Технологическая документация. Технологические регламенты на изготовление пищевых продуктов. Правила разработки: СТБ 1990–2009. – Введ. 01.07.10. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2009. – 20 с.
219. Технология молока и молочных продуктов / П.Ф. Дьяченко [и др.]. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 448 с.
220. Тихомирова, Н.А. Глубокое фракционирование минорных белковых компонентов из коровьего молока / Н.А. Тихомирова, Г.С. Комолова, И.И. Ионова // Переработка молока. – 2013. – №8. – С.60-63.
221. Трухачев, В. И. Концентраты белков молока: выделение и применение / В.И. Трухачев, В. В. Молочников, Т. А. Орлова. – Ставрополь : Агрус, 2009. – 152 с.
222. Туровская, С.Н. Аспекты оценки коэффициента однородности кристаллизации лактозы / С.Н. Туровская, А.Е. Рябова, В.К. Семипятный, А.Г. Голстян, А.Н. Петров // Переработка молока. – 2015. – №7. – С.42-43.

223. Улитенко, А.И. Влияние технологии первичной обработки на бактерицидные свойства молока / А.И. Улитенко, Э.И. Соколовский, В.А. Пушкин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 12. – С. 83-86.
224. Улитенко, А.И. Проточный охладитель производительностью 750 л/ч парного молока / А.И. Улитенко, В.А. Пушкин // Молочная промышленность. – 2005. – № 10. – С. 46.
225. Федоров, Н.Е. Аналитические расчеты сушильных установок. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 304 с.
226. Фетисов, Е.А. Мембранные и молекулярноситовые методы переработки молока / Е.А. Фетисов, А.П. Чагаровский. – М.: Агропромиздат, 1991. – 272 с.
227. Фольмер, М. Кинетика образования новой фазы / М. Фольмер. – М.: Наука, 1986. – 208 с.
228. Харитонов, В.Д. Двухстадийная сушка молочных продуктов / В.Д. Харитонов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 215 с.
229. Харитонов, В.Д. Научная основа и практика технологии сухого молока методом двухстадийной сушки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Харитонов Владимир Дмитриевич. – М., 1989. – 46 с.
230. Харитонов, В.Д. Некоторые вопросы повышения эффективности производства молочных продуктов / В.Д. Харитонов, В.Г. Будрик // Техника и технология пищевых производство. – 2012. – № 3. – С. 128-131.
231. Харитонов, В.Д. Режимы сушки и их влияние на качество сухого молока / В.Д. Харитонов, П.В. Кузнецов, В.А. Шуваева, С.М. Кунижев. – М.: ЦНИИТЭИ Мясомолпром СССР, 1981. – 32 с.
232. Харитонов, В.Д. Эффективность различных способов получения сухого молока / В.Д. Харитонов, В.Я. Грановский. – М.: ЦНИИТЭИ Мясомолпром СССР, 1982. – 31 с.
233. Хванг, С.-Т. Мембранные процессы разделения / С.-Т. Хванг, К. Каммермейер. – М.: Химия, 1981. – 460 с.
234. Храмцов, А.Г. Возможности применения молочной сыворотки в технических целях / А.Г. Храмцов // Переработка молока. – 2012. – №12. – С. 44-47.

235. Храмцов, А.Г. Использование молочной сыворотки в кормовых добавках нового поколения / А.Г. Храмцов // Переработка молока. – 2012. – № 4. – С. 44-48.
236. Храмцов, А.Г. Использование молочной сыворотки в продуктах функционально питания [Текст] / А.Г. Храмцов // Переработка молока. – 2012. – №7. – С. 50-53.
237. Храмцов, А. Г. Молочная сыворотка / А. Г. Храмцов. – М.:Агропромиздат, 1990. – 240 с.
238. Храмцов, А.Г. Молочный сахар / А.Г. Храмцов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 223 с.
239. Храмцов, А.Г. Молочный сахар и минерализат молочной сыворотки / А.Г. Храмцов // Переработка молока. – 2011. – №3. – С.74-76.
240. Храмцов, А.Г. Перспективы переработки соленой сыворотки на молочный сахар с применением электродиализа / А.Г. Храмцов [и др.] // Молочная промышленность. – 1986. – № 8. – С. 10-12.
241. Храмцов, А.Г. Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 152 с.
242. Храмцов, А.Г. Промышленная переработка вторичного молочного сырья / С.В. Василисин. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 100 с.
243. Храмцов, А.Г. Рациональное использование молока, пахты и молочной сыворотки: науч.-техн. рекомендации / А.Г. Храмцов, С.В. Василисин. – Ставрополь, 2001. – 108 с.
244. Храмцов, А.Г. Рациональное использование обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки: науч.–техн. рекомендации / А.Г. Храмцов, С.В. Василисин. – Ставрополь: [б. и.], 2011. – 105 с.
245. Храмцов, А.Г. Системология продуктов из лактозы и ее производных / А.Г. Храмцов // Молочная промышленность. – 2005. – №10. – С. 58-59.
246. Храмцов, А.Г. Современные способы сушки творожной сыворотки: обзор информ. / А.Г. Храмцов, Л.Е. Давыдянц, П. Г. Нестеренко. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1990. – 45 с.

247. Храмцов, А.Г. Справочник мастера по промышленной переработке молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, В.С. Василисин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 172 с.
248. Храмцов, А.Г. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 5. Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, С.В. Василисин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 576 с.
249. Храмцов, А.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки / А.Г. Храмцов, П. Г. Нестеренко. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.
250. Храмцов, А.Г. Феномен молочной сыворотки: монография / А.Г. Храмцов. – СПб: Профессия, 2011. – 804 с.
251. Чекулаева, Л.В. Технология продуктов консервирования молока и молочного сырья / Л.В. Чекулаева, К.К. Полянский, Л.В. Голубева. – Москва: ДеЛи принт, 2005. 248 с.
252. Червецов, В.В. Интенсификация процессов кристаллизации при производстве молочных продуктов / В. В. Червецов, А. И. Гнездилова. – М.: Тип. Россельхозакадемии, 2011. – 196 с.
253. Шапкарин, В.В. Биохимия: сборник лабораторных работ / В.В. Шапкарин, А.П. Королев, С.Б. Гридина, Е.П. Зинкевич. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. – 84 с.
254. Шванская, И.А. Использование отходов перерабатывающих отраслей в животноводстве. Научное издание / И.А. Шванская, Л.Ю. Коноваленко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. – 96 с.
255. Шейко, И.П. Свиноводство / И.П. Шейко, В.С. Смирнов. – Мн.: Новое издание, 2005. – 384 с.
256. Шипулин, В.И. Исследование эмульгирующей способности микропартикулированного сывороточного белка / В.И. Шипулин, О.Н. Назарова, О.Н. Лагута / Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: материалы XIV научно-технической конференции. Т.1. – Ставрополь: ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет», 2010. – С. 54-55.

257. Щербакова, О.Е. Заменители молока для молодняка сельскохозяйственных животных / О.Е. Щербакова. – Москва, ДеЛи принт, 2003. – 100 с.
258. Advanced dairy science and technology / T. J. Britz, R. K. Robinson (ed.). – Oxford: Blackwell Publishing, 2008. – 300 p.
259. Akuzava, R. Bioactive Components in Caseins, Caseinates, and Cheeses / R. Akuzava, T. Miura, H. Kawakami // Bioactive components in Milk and Dairy products / Park W. [ed.]. – Wiley–Blackwell, 2009. – P. 217-233.
260. Baker, R. W. Membrane Technology and Applications / R. W. Baker. – Chichester: John Wiley & Sons, 2004. – 538 p.
261. Boland, M. «Designer» milks: functional foods from milk / M. Boland // Improving the safety and quality of milk / M.W. Griffiths [ed.]. – Cambridge: Woodhead Publishing limited. – 2010. – V.2. – P.74-96.
262. Cheryan, M. Ultrafiltration and microfiltration handbook / M. Cheryan. – Lancaster: Technomic Publishing, 1998. – 527 p.
263. Dairy Science and thechnology / P. Walsta [et al]. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 768 p.
264. Dennison, C. A guide to protein isolation / C. Dennison. – Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2003. – 199 p.
265. Felk, H. Eignung von Vormischung fur Schweinefiittergemische in der Schweinemast / H. Felk, H. Schubert, I. Braband // Tierzucht. – 1985. – Vol. 39. – № 6. – P. 283-285.
266. Fuquay, J.W. Encyclopedia of dairy sciences / J.W. Fuquay, P.F. Fox, P.L.H. McSweeney. – Elsevier Ltd., 2011. – 4068 p.
267. Harper, W.J. Biological properties of whey components / W.J. Harper // A review The American Dairy Products Institutes, Chicago. IL 60606. – 2009. – P. 235-239.
268. Heaney, R.P. Calcium, dairy products and osteoporosis / R.P. Heaney // J. Am. Coll. Nutr. – 2000. – V.19. – P.83-99.
269. Heyman, M.B. For the Committee on nutrition: lactose intolerance in infants, children and adolescents / M.B. Heyman // Pediatrics. – 2006. – № 118. – P.1279-1286.

270. Hoolihan, L. Beyond calcium. The protective attributes of dairy products and their constituents / L. Hoolihan // Nutrition today. – 2004 – № 39(2). – P.69-77.
271. Lehrstuhl für Lebensmittelverfahrenstechnik und Molkereitechnologie Verband Weihenstephaner Milchwirtschaftler, Bio- und Lebensmitteltechnologien Technischen Universität München [Электронный ресурс] / – Режим доступа : <http://www.lmvt.wzw.tum.de/index.php?id=78> – Дата доступа : 10.02.2016.
272. Huth, P.J. The emerging role of dairy proteins and bioactive peptide in nutrition and health / P.J. Huth, D.K. Layman, P.H. Brown // J. Nutr. – 2004. – № 134 (suppl. 4). – P. 961-973.
273. International Dairy Federation. Bulletin of the International Dairy Federation: The world dairy situation 2007, 423. – 2007. – P.1-97.
274. International Dairy Federation. Bulletin of the International Dairy Federation: The world dairy situation, 2010. – № 446. – P. 206.
275. Kessler, H.G. Lebensmittel-Verfahrenstechnik Schwerpunkt Molkereitechnologie / H.G. Kessler. – Weihenstephan, 1976. – 589 s.
276. Konrad, G. A large-scale isolation of native β -lactoglobulin: characterization of physicochemical properties and comparison with other methods / G. Konrad, B. Lieske // International Dairy Journal. – 2000. – Vol. 10. – P.713-721.
277. Lindermeier, H. Fütterungsberater Schwein. Ferkel, Zuchtschweine, Mastschweine / H. Lindermeier, H. Propstmeier, K. Straub. – München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1994. – 176 s.
278. Mahon, D.I. Composition, structure and integrity of casein micelles: A Review / D.I. Mahon, R.I. Brown // Journal of Dairy Science. – 1999. – V 67. – №3. – Pp. 499-512.
279. McGregor, W.C. Membrane Separation in Biotechnology / W.C. McGregor. – New York : Marcel Dekker, 1986. – 386 p.
280. Membrane Fractionation of Milk: State of the Art and Challenges / G. Brans [et al.] // J. Membr. Sci. – 2004. – P. 263-272.
281. Miller, G.D. Handbook of dairy foods and nutrition / G.D. Miller, K. Jarvis, L.D. McBean. – Boca Raton: CRC Press., 2007. – P.115-123.
282. Mocquot, G. Reviews of the progress of Dairy Science / G. Mocquot // J. Dairy

Res. – 1979. – Vol.46. – P. 133-160.

283. Muditha, Dissanayake. Gelling Properties of Microparticulated Whey Proteins / Muditha Dissanayake, Alan L. Kelly and Todor Vasiljevic // *J. Agric. Food Chem.* – 2010. – № 58 (11). – P. 6825-6832.

284. Nagarale, R. K. Recent Developments on Ion-Exchange Membranes and Electro-Membrane Processes / R. K. Nagarale, G. S. Gohil, V. K. Shahi // *Adv. Colloid. Interface. Sci.* – 2006. – Vol. 119. – № 2-3. – P. 97-130.

285. Peinemann, Kl.-V. Membrane Technology: vol. 3: Membranes for Food Applications / Kl.-V. Peinemann, S. Pereira Nunes, L. Giorno. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. – 247 p.

286. Sata, T. Ion exchange membranes: preparation, characterization, modification and application / T. Sata. – Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. – 314 p.

287. Scott, K. Handbook of industrial membranes / K. Scott. – Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1995. – 912 p.

288. Separation, Extraction and Concentration Processes in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries / S. Rizvi. – Woodhead Publishing, 2010. – 694 p.

289. Simon, O. Probiotic feed additives – effectiveness and expected modes of action / O. Simon, A. Jadamus, W. Vahjen // *J. Animal Feed Sci.* – 2001. – Vol. 10. – P. 51-67.

290. Sibel, R. Handbook of fat replacers / R. Sibel, Sylvia A. Jones. – New York: CRC Press Boca Raton, 1996. – 327 p.

291. Wit, J.N. Nutritional and Functional Characteristics of Whey Proteins in Food Products / J.N. Wit // *Journal of Dairy Science.* – 1999. – №81. – P. 597-608.

292. Zeman, L. J. Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications / L.J. Zeman, A.L. Zydney. – New York: Marcel Dekker, 1996. – 365 p.

Список публикаций соискателя по теме диссертации**Монографии, главы в коллективных монографиях**

1. **Дымар, О.В.** Производство казеина: основы теории и практики / О.В. Дымар, С.И. Чаевский // Научно-практическое издание. Монография. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2007. – 70 с.

2. Мелещеня, А.В. Концептуальные подходы развития молочной отрасли Республики Беларусь на 2011-2015 годы / А.В. Мелещеня, **О.В. Дымар**, М.Л. Климова – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2009. – 48 с.

3. Ловкис, З.В. Новые технологии в пищевой промышленности / З.В. Ловкис, Н.Н. Петюшев, Л.М. Павловская, О.Л. Сороко, **О.В. Дымар** // Новые технологии в пищевой промышленности / З.В. Ловкис [и др.]; под общ. ред. З.В. Ловкиса. – Минск: Типография РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2011. – 142 с.

4. **Дымар, О.В.** Модификация физико-химических характеристик молочного сырья методами ионного обмена и гель-фильтрации / О.В. Дымар // Модификация физико-химических характеристик молочного сырья методами ионного обмена и гель-фильтрации: Монография / О.В. Дымар. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2013. – 55 с.

5. **Дымар, О.В.** Научно-технические аспекты повышения эффективности переработки молочных ресурсов / О.В. Дымар // Научно-технические аспекты повышения эффективности переработки молочных ресурсов / О.В. Дымар. – Минск: Колорград, 2015. – 245 с.

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации

6. **Дымар, О.В.** Альтернативные варианты переработки сыворотки / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2006. – №6 – С. 16-17.

7. **Дымар, О.В.** Республика Беларусь: основные направления переработки сыворотки / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2012. – №2. – С. 40-43.

8. Миклух, И.В. Нормализация молока и молочных продуктов по белку / И.В. Миклух, **О.В. Дымар** // Молочная промышленность. – 2012. – №4. – С. 54-55.

9. **Дымар, О.В.** Модернизация линий производства казеина. Техничко–экономические аспекты / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2012. – №11. – С. 48-51.

10. **Дымар, О.В.** Белорусская молочная промышленность: технологические приоритеты развития / О.В. Дымар // Молочная промышленность – 2013. – №6. – С. 16-18.

11. **Дымар, О.В.** Технологические аспекты использования микропартикулятов сывороточных белков при производстве молочных продуктов / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2014. – №6. – С. 18-21.

12. **Дымар, О.В.** Особенности переработки кислых видов молочной сыворотки / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2014. – №11. – С. 52-55.

13. **Дымар, О.В.** Техничко–экономические аспекты переработки молока / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2015. – №3. – С. 67-71.

14. **Дымар, О.В.** Динамика процесса нанофильтрации молочной сыворотки / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2015. – №7. – С. 27-30.

15. **Дымар, О.В.** Применение фруктово-ягодных наполнителей при производстве кисломолочных продуктов / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2016. – №1. – С. 38-41.

16. **Дымар, О.В.** Концептуальные подходы к организации переработки молочной сыворотки в Республике Беларусь / О.В. Дымар // Молочная промышленность. – 2016. – № 4. – С. 72-76.

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Республики Беларусь

17. **Дымар, О.В.** Повышение качества молока сырья путем внедрения технологии его поточного охлаждения / О.В. Дымар // Молодежь в науке – 2007. Приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». Часть 4 – С. 328-333.

18. Чаевский, С.И. Разработка новых жировых концентратов на молочной основе, входящих в состав продуктов кормового назначения / С.И. Чаевский,

О.В. Дымар // Молодежь в науке – 2007. Приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». Часть 4 – С. 388-392.

19. **Дымар, О.В.** Сравнительный анализ систем охлаждения молока по их эффективности / О.В. Дымар // Известия национальной Академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2009. – №2. – С. 95-99.

20. **Дымар, О.В.** Производство казеина в республике Беларусь: Проблемы и перспективы / О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2009. – №2(4). – С. 58-63.

21. Дымар, Т.И. Подбор микроорганизмов в состав консорциума бактериального концентрата для изготовления биопродукта на основе молочной сыворотки / Т.И. Дымар, Т.А. Савельева, Н.Н. Фурик, **О.В. Дымар** // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2009. – №4(6). – С. 54-58.

22. **Дымар, О.В.** Технологические возможности процесса ультрафильтрации при производстве молочных продуктов / О.В. Дымар, И.В. Миклух, С.И. Чаевский // Вестник МГУП. Пищевая технология – 2009. – №2(7). – С. 48-52.

23. **Дымар, О.В.** Переработка сыворотки: технические и технологические аспекты / О.В. Дымар, Ю.М. Здитовецкая // Молодежь в науке – 2009. Приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»: в 5 ч. – Часть 3. Серия Аграрных наук. – Минск: Беларус. Навука, 2010. – С. 394-399.

24. **Дымар, О.В.** Повышение эффективности производства сыворотки сухой кристаллизованной / О.В. Дымар, С.И. Чаевский, И.В. Миклух // Молодежь в науке – 2009. Приложение к журналу «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»: в 5 ч. – Часть 3. Серия Аграрных наук. – Минск: Беларус. Навука, 2010. – С. 399-405.

25. **Дымар, О.В.** Состояние технологического оборудования на молокоперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь / О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2010. – №2(8). – С. 29-34.

26. **Дымар, О.В.** Перспективы развития производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь / О.В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2010. – №4(10). – С. 3-7.

27. **Дымар, О.В.** Разработка рациональной технологической схемы первичной переработки подсырной сыворотки / О.В. Дымар, К.В. Обьедков, Ю.М. Здитовецкая // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. Вып. 5/ РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещня гл. ред. [и др.]. – Минск, 2011. – 248с. – С. 53-62.

28. **Дымар, О.В.** Технологические и экономические аспекты нормализации молока по белку УФ-фильтратом обезжиренного молока / О.В. Дымар, Н.Н. Фурик, И.В. Миклух // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. Вып. 5/ РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещня гл. ред. [и др.]. – Минск, 2011. – 248с. – С. 165-172.

29. **Дымар, О.В.** Оптимизация жирнокислотного состава жировой фазы продукта молочно-жирового сухого с растительными жирами / О.В. Дымар, Н.Н. Фурик, М.В. Зубик // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. Вып. 5/ РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещня гл. ред. [и др.]. – Минск, 2011. – 248с. – С. 181-191.

30. **Дымар, О.В.** Определение оптимальных параметров процесса ферментативного гидролиза лактозы в молочной сыворотке / О.В. Дымар, Л.Н. Емельянова, Г.С. Джумок // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – №1 (15). – С. 24-30.

31. Емельянова, Л.Н. Технологические особенности производства сыворотки сухой гидролизованной / Л. Н. Емельянова, **О. В. Дымар**, Т. Л. Шуляк // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 6. – 297 с. С. 147-155.

32. Беспалова, Е.В. Изучение динамики снижения содержания лактозы при производстве высокобелкового молочного продукта для питания спортсменов / Е.В. Беспалова, **О.В. Дымар**, Т.А. Савельева // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук – 2013. – №1. – С. 111-115.

33. **Дымар, О.В.** Современные селективные методы переработки молочной сыворотки и технология санитарной обработки мембранных установок / О.В. Дымар,

И.В. Миклух, Е.В. Беспалова, А.П. Райский // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2013. – №1 (19). – С. 44-49.

34. **Дымар, О.В.** Новые виды продуктов на основе молочной сыворотки / О.В. Дымар, В.А. Варганов, Е.В. Ефимова, А.П. Райский // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2013. – №1 (19) – С. 49-54.

35. **Дымар, О.В.** Комбинация ферментативного гидролиза лактозы и электродиализа – основа производства сгущенных и сухих молочных продуктов нового поколения / О.В. Дымар, Л.Н. Соколовская, А.П. Райский // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2013. – №1 (19). – С. 55-64.

36. **Дымар, О.В.** Новые рецептуры и оборудование для приготовления заменителей цельного молока методом сухого смешивания / О.В. Дымар, И.В. Миклух, Л.Н. Соколовская // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2013.– №1 (19). – С. 64-69.

37. **Дымар, О.В.** Технологические аспекты получения сухих молочных продуктов повышенной растворимости / О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, Е.В. Ефимова, М.Т. Серебрянская, С.И. Вырина // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 7 – 180 с. С. 37-47.

38. **Дымар, О.В.** Методы выделения белков молочной сыворотки / О.В. Дымар, Е.Е. Ныркова, Е.Д. Шегидевич // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 7 – 180 с. С. 82-91.

39. Савельева, Т.А. Мембранные технологии концентрирования при переработке отходов биотехнологического производства / Т.А. Савельева, **О.В. Дымар**, Л.Л. Богданова // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 7 – 180 с. С. 112-121.

40. Ховзун, Т.В. Сравнительный анализ химической мойки мембран на предприятиях молочной промышленности / Т.В. Ховзун, Ю.В. Лобанов, А.В. Шах, **О.В. Дымар** // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб.

науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 7 – 180 с. С. 122-135.

41. Ефимова, Е.В. Использование сухих микропартикулированных белков для производства творога / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар** // Молодежь в науке – 2013: прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»: в 5 ч. Ч.3. Серия аграрных наук/Нац. акад. наук Беларуси. Совет молодых ученых НАН Беларуси; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 143 с. С. 105-109.

42. Мелешня, А.В. Стратегия научно-технического сопровождения развития мясо-молочной промышленности Республики Беларусь на 2014-2015 и до 2020 года / А.В. Мелешня, Т.А. Савельева, **О.В. Дымар** // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – Вып. 8. – 216 с. С. 7-16.

43. Савельева, Т.А. Исследование влияния температурных режимов и продолжительности хранения на микробиологические и биохимические показатели бактериального концентрата СБК-СМ-МТв на основе микроорганизмов с различными температурными оптимумами роста / Т.А. Савельева, Н.Н. Фурик, **О.В. Дымар**, Н.К. Жабанос, В.А. Тарас // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – Вып. 8. – 216 с. С. 143-156.

44. **Дымар, О.В.** Изучение возможности использования сухих микропартикулированных белков для производства плавленых сыров и сырных продуктов / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Пищевая промышленность: наука и технология. Научно технический журнал – 2014. – №3 (25). – С. 12-15.

45. **Дымар, О.В.** Технологическая наследственность при производстве пищевых продуктов / О.В. Дымар, Т.А. Савельева, Е.В. Ефимова // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 16-26.

46. **Дымар, О.В.** Использование отечественных натуральных ягодных и овощефруктовых наполнителей для производства йогуртов / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова, М.Т. Серебрянская, С.И. Вырина, Н. Мувад // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 40-46.

47. **Дымар, О.В.** Баромембранная подготовка смесей при производстве йогуртов / О.В. Дымар, Н. Мувад, А.П. Райский // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 59-68.

48. **Дымар, О.В.** Изоляция β -лактоглобулина молочной сыворотки / О.В. Дымар, Е.Д. Шегидевич // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелешня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 69-76.

49. **Дымар, О.В.** Стандартизация состава смесей для йогурта методом нанофильтрации / О.В. Дымар, Н. Мувад, А.П. Райский // Пищевая промышленность: Наука и технологии. – 2015. – №3 (29). – С. 28-36.

50. **Дымар, О.В.** Предельная степень концентрирования молочного сырья при нормализации сухого молока по белку / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова, Н. Мувад, А.П. Райский // Молодёжь в науке – 2014: прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»: в 5 ч. Ч.5. Серия аграрных наук/ Нац. акад. наук Беларуси. Совет молодых ученых НАН Беларуси; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [др.]. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 2002 с. С. 140-144.

51. **Дымар, О.В.** Метрологические характеристики методики определения массовой доли золы в молоке и молочной продукции / Т.М. Смоляк, Т.В. Сенченко, Т.А. Савельева, О.В. Дымар // Молодёжь в науке – 2014: прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»: в 5 ч. Ч.5. Серия аграрных наук/ Нац. акад. наук Беларуси. Совет молодых ученых НАН Беларуси; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [др.]. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 2002 с. С. 159-163.

Статьи в отраслевых периодических изданиях

52. **Дымар, О.В.** Энергосберегающая технология охлаждения молока на ферме / О.В. Дымар, В.С. Трофимов // Агрэкономика. – 2003. – №10. – С.20-21.
53. **Дымар, О.В.** Энергосбережение при производстве казеина / О.В. Дымар // Агрэкономика. – 2005. – №5. – С.49-50.
54. **Дымар, О.В.** Повышение эффективности первичной обработки молока / О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, А.И. Белущенко // Актуальные вопросы переработки молочного сырья: сб. науч. тр. – Минск, УП «БЕЛНИКТИММП», 2005. – 201 с. С. 46-53.
55. **Дымар, О.В.** Перспективные направления развития в области производства мороженого / О.В. Дымар, В.С. Трофимов // Актуальные вопросы переработки молочного сырья: сб. науч. тр. – Минск, УП «БЕЛНИКТИММП», 2005. – 201с. С. 153-162.
56. Прокопьев Н.А. Перспективы совершенствования сушильного оборудования для производства сухого компонента комбикормов на основе молочной сыворотки / Н.А. Прокопьев, А.В. Шах, **О.В. Дымар** // Актуальные вопросы переработки молочного сырья: сб. науч. тр. – Минск, УП «БЕЛНИКТИММП», 2005. – 201с. С. 167-169.
57. **Дымар, О.В.** Методика анализа технических систем / О.В. Дымар // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2006. – №5. – С. 207-209.
58. Мелещеня А.В. Заменители цельного молока: состояние и перспективы развития рынка / А.В. Мелещеня, **О.В. Дымар** // Белорусское сельское хозяйство – 2006. – №9. – С.22-25.
59. **Дымар, О.В.** Производство казеина на ОАО «Барановичский молочный комбинат». Опыт энергосбережения. / О.В. Дымар, А.В. Мелещеня. В.И. Ракуть // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – №4. – С.83-85.
60. **Дымар, О.В.** Энергосберегающая технология производства сухой сыворотки / О.В. Дымар // Энергоэффективность. – 2007. – №6. – С. 10-11.
61. **Дымар, О.В.** Повышение эффективности производства сухих молочных продуктов / О.В. Дымар, А.Н. Кажуро // Актуальные вопросы переработки мясного и

молочного сырья: Сб. научн. тр. Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2007. – 169с. С.52-60.

62. Чаевский С.И. Развитие рынка и сравнительный анализ составов заменителей цельного молока / С.И. Чаевский, **О.В. Дымар** // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: Сб. научн. тр. Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2007. – 169с., С.74-82.

63. **Дымар, О.В.** Энергосбережение при производстве молока на молочно–товарной ферме / О.В. Дымар // Инженерный вестник. – 2008. – №2. – С.15-19.

64. **Дымар, О.В.** Производство молока: экономика и энергосбережение / О.В. Дымар // Белорусское сельское хозяйство. – 2009. – №3. – С.58-62.

65. **Дымар, О.В.** Анализ состояния технологического оборудования на молокоперерабатывающих предприятиях при реализации программы переработки молочной сыворотки и производства сухих молочных продуктов в Республике Беларусь на 2008–2010 годы / О.В. Дымар // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: Сб. научн. тыс. руб. Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2009. – 282 с. С.13-22.

66. **Дымар, О.В.** Перспективы использования процесса ультрафильтрации при производстве высокобелковых молочных продуктов / О.В. Дымар, И.В. Миклух // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: Сб. научн. тыс. руб. Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2009. – 282 с. С. 79-93.

67. **Дымар, О.В.** Технология извлечения сырной пыли из сыворотки при производстве сычужных сыров / О.В. Дымар, К.В. Обьедков, И.Б. Фролов, Ю.М. Здитовецкая // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: Сб. научн. тыс. руб. Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2009. – 282 с. С. 149-159.

68. Мелещеня А.В. Заменители цельного молока: экономика, технологии, перспективы / А.В. Мелещеня, **О.В. Дымар**, М.Л. Климова // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – №1. – С.44-48.

69. Мелещеня А.В. Молочная сыворотка: перспективы переработки и реализации / А.В. Мелещеня, **О.В. Дымар**, М.Л. Климова // Белорусское сельское

хозяйство. – 2010. – №6. – С.34-37.

70. Мелещеня А. В., Технические и технологические аспекты переработки сыворотки на современном этапе / А. В. Мелещеня, **О.В. Дымар**, Ю.М. Здитовецкая // Стандартизация. – 2010. – №3. С.57-60.

71. **Дымар, О.В.** Перспективы использования гидролиза лактозы при производстве молочных продуктов / О.В. Дымар, И.Н. Скакун // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. Вып.4/ РУП «Институт мясо–молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.] – Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2010. – 285 с. С. 114-124.

72. **Дымар, О.В.** Применение ультрафильтрации при производстве сухого концентрата молочного белка / О.В. Дымар, И.В. Миклук // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. научн. тр. Вып.4/ РУП «Институт мясо–молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.] – Минск, РУП «Институт мясо–молочной промышленности», 2010. – 285 с. С. 187-195.

73. **Дымар, О.В.** Переработка молочной сыворотки в Белоруссии / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2011. – №8. – С.12-15 (РФ).

74. **Дымар, О.В.** Выбор оптимального стабилизатора при производстве мороженого О.В. Дымар, И.С. Мартынович // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – №1 (15). – С. 30-35.

75. **Дымар, О.В.** Технологии охлаждения молока на ферме / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2012. – №4. – С. 14-17. (РФ).

76. **Дымар, О.В.** Заменители молока: состояние и перспективы развития / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2012. – №6. – С. 30-33. (РФ).

77. **Дымар, О.В.** Опыт переработки молочной мелассы / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2012. – №11. – С.12-14. (РФ).

78. **Дымар, О.В.** Современные тенденции ресурсосбережения на предприятиях Белоруссии / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2013. – №7. – С.24-25. (РФ).

79. **Дымар, О.В.** Технология производства кормового продукта из микробиальной барды / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2014. – №1. –

С.30-33. (РФ).

80. **Дымар, О.В.** Сухие молочные продукты. В поисках оптимальных решений развития производства / О.В. Дымар // Продукт ВУ. Продовольственный торгово-промышленный журнал. – 2014. – Март 6(133). – С.69-71.

81. **Дымар, О.В.** Роль белков в образовании флулинг-слоя при электродиализе творожной сыворотки / О.В. Дымар, Е.В. Беспалова, Ян Кинчл, Филип Ауингер // Переработка молока. – 2014. – № 5. – С.48-50. (РФ).

82. **Дымар, О.В.** Перспективы использования микропартикулятов / О.В. Дымар // Продукт ВУ. Продовольственный торгово-промышленный журнал. – 2014. – Сентябрь №17 (143). – С. 70-71.

83. **Дымар, О.В.** Быстрое охлаждение молока – ускорение для молочной прибыли / О.В. Дымар // Белорусское сельское хозяйств. – 2015. – №2 (154) февраль. – С. 82-85.

84. **Дымар, О.В.** Синергетические эффекты взаимодействия добавок в технологиях производства пищевых продуктов / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 47-58.

85. **Дымар, О.В.** Исследование КСБ–УФ–80 как перспективного компонента для производства специализированных мясных продуктов повышенной биологической ценности / О.В. Дымар, С.А. Гордынец, И.В. Калтович // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Вып. 9. – 192 с. С. 153-164.

86. **Дымар, О.В.** Анализ методов определения остаточных количеств антибиотиков в молоке–сырье / О.В. Дымар, Т.Н. Смоляк, Н.А. Хвалько // Продукт.ВУ. Продовольственный торгово-промышленный журнал. – 2015. – Январь №1-2 (150). – С. 78.

87. Москва, В. Применение мальтодекстринов при производстве йогуртов / В. Москва, С. Томашевич, **О.В. Дымар**, Е.В. Ефимова // Продукт.ВУ. Продовольственный торгово–промышленный журнал. – 2015. – Февраль № 3 (151). – С. 71.

88. **Дымар, О.В.** Технология производства мягких термокислотных сыров на основе пахты / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова, С.И. Вырина // Переработка молока. – 2015. – №3. – С.44-47. (РФ).

89. **Дымар, О.В.** Перспективные направления развития предприятий / О.В. Дымар // Переработка молока. – 2015. – №3. – С.44-47 (РФ)

90. **Дымар, О.В.** Ягодные и овощефруктовые наполнители для производства творожных продуктов / О. Дымар, Т. Савельева, Е. Ефимова, М. Назих // Продукт ВУ. Продовольственный торгово-промышленный журнал. – 2015. – Ноябрь №15(162). – С.62.

Доклады в материалах международных и других научно–практических конференциях

91. Ковалев В.Я. Повышение эффективности первичной переработки молока / В.Я. Ковалев, В.С. Трофимов, **О.В. Дымар** // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Международная науч.-практ. конф. – Минск: УО БГАТУ, 1997. – С. 89-90.

92. Трофимов В.С. Новый пастеризатор для жидких пищевых продуктов / В.С. Трофимов, Т.И. Дымар, **О.В. Дымар** // Техника и технология пищевых производств. 2-я Международная науч.-техн. конф. – Могилев: УО МГУП, 2000. – С. 214-216.

93. **Дымар, О.В.** Энергосбережение при производстве молока / О.В. Дымар, В.С. Трофимов, // Аграрная энергетика в XXI-м столетии. Материалы II-й Международной науч.-техн. конф. – Минск: УО БГАТУ, 2002. – С.144-145.

94. **Дымар, О.В.** Производство компонента сухого белкового для комбикормов – одно из направлений утилизации сыворотки / О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, А.В. Шах // Техника и технология пищевых производств. тез. докл. V Междунар. науч.-техн. конф., 18-20 мая 2005 г. Могилев / УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: Т.С. Хасаншин (отв. ред.) [и др.] – Мн.: Изд. центр БГУ, 2005 – С. 156-157.

95. **Дымар, О.В.** Утилизация и использование молочной сыворотки в качестве компонента кормового продукта / О.В. Дымар // Алгоритмы повышения конкурентоспособности молочных продуктов – союз науки и практики:

Материалы международного науч. –практ. семинара. – Мн: УП «БЕЛНИКТИММП», 2005. – С. 37-38.

96. Чаевский С.И. Перспективы использования молочной сыворотки при производстве заменителей цельного молока / С.И. Чаевский, Т.И. Дымар, **О.В. Дымар** // Инновационные технологии в производстве пищевых продуктов: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 5-6 октября, 2006 г.) / редкол. З.В. Ловкис [и др.]. – Мн: БелГИПК, 2007. – С. 186-190.

97. **Дымар, О.В.** Кристаллизация молочной сыворотки – основное направление снижения затрат при ее переработке / О.В. Дымар // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф., 22-23 мая 2007 г., Могилев/ УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО МГУП, 2007. – С. 187.

98. Чаевский С.И. Разработка заменителя цельного молока, обогащенного пробиотической микрофлорой / С.И. Чаевский, **О.В. Дымар** // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф., 22-23 мая 2007 г., Могилев/ УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО МГУП, 2007. – С. 189.

99. **Дымар, О.В.** Повышение технико–экономических показателей работы оборудования при производстве сухой сыворотки / О.В. Дымар // Совершенствование технологий и оборудования пищевых производств: в 2 ч., сб. докл. VI Междунар. науч.–практ. конф. (г. Минск, 2-3 окт., 2007 г.) / науч. практ. центр НАН Беларуси по прод., редкол.: З.В. Ловкис [и др.]. – Несвиж: Несв. укрупн. тип. 2007. – Ч.2. – С.66-96.

100. **Дымар, О.В.** Перспективы использования молочной сыворотки в десертных продуктах / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Материалы конференции "Современные технологии сельскохозяйственного производства". XII Международная науч.-практ. конф. – Гродно: ИПО УО ГГАУ. – 2009. – С. 470-471.

101. **Дымар, О.В.** Whey treatment: current status and perspectives of market development in the republic of Belarus / O.V. Dymar // 7-11 June, 2009. Conference. Permea 2009. – Prague, 2009. – s. 117.

102. **Дымар, О.В.** Сыворотка молочная, обогащенная лактатами, как источник обогащения кормовых продуктов минеральными веществами и антиоксидантами / О.В. Дымар, С.И. Чаевский, И.В. Миклух // Молодежь и инновации – 2009. Материалы Международной науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 170-летию УО БГСХА в 2 ч. (г. Горки, 3-5 июня 2009 г.). – Горки: УО БГСХА, 2009. – Ч.1. – С. 300-301.

103. **Дымар, О.В.** Производственно–технологические аспекты развития рынка казеина / О.В. Дымар, М.Л. Климова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы VIII Международной науч.-практ. конф. (8-9 октября 2009 г.) / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – С. 485-491.

104. **Дымар, О.В.** Перспективы применения сыворотки молочной обогащённой лактатами в производстве кормовых продуктов / О.В. Дымар, С.И. Чаевский, Миклух И.В. // Олимпиада 2014: технологические и экологические аспекты производства продуктов здорового питания: Сборник материалов международной науч.практ. конф. – Краснодар: КНИИХП, КубГТУ, 2009. – С. 91-93.

105. **Дымар, О.В.** Экономические аспекты перспективных направлений переработки молочной сыворотки / О.В. Дымар // Экологические аспекты переработки молочного сырья: Сборник материалов международной науч.-практ. конф. 10-11 декабря 2009 года. – Минск: РУП ИММП, 2009. – С. 12-15.

106. Фурик Н.Н. Создание нового продукта функционального назначения на основе молочной сыворотки / Н.Н. Фурик, **О.В. Дымар**, Т.А. Савельева, Т.И. Дымар // Актуальные проблемы животноводства, ветеринарной медицины, переработки сельскохозяйственной продукции и товароведения: Материалы международной науч.-практ. конф. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2010. – С. 311-312.

107. **Дымар, О.В.** Изучение возможности применение процесса электродиализа для снижения кислотности растворов / О.В. Дымар, М.В. Зубик, И.В. Миклух // Наука о проблемах инновационного развития АПК/Сборник материалов международной науч.-практ. конф. – Великие Луки: РИО ВГСХА, 2010. – С. 81-86.

108. **Дымар, О.В.** Экологические аспекты производства сухих молочных продуктов на основе молочной сыворотки / О.В. Дымар, М.В. Зубик, И.В. Миклух //

Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика. /Материалы международной науч.-практ. конф. Том 2. – Мн.:Издатель и полиграфическое исполнение УО БНТУ. 2010. – Том 2. – С. 25-28.

109. **Дымар, О.В.** Применение процесса электродиализа как метода обработки молочной сыворотки / О.В. Дымар, М.В. Зубик, И.В. Миклух // XI Международная конф. молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (г. Казань, 13-16 апреля 2010 г.). Сборник тезисов докладов, в 2 ч. – Казань: Издательство «Отечество», 2010. – Ч.2. – С. 16.

110. Мелещеня А. В. Мировой рынок молока и молокопродуктов / А.В. Мелещеня, **О.В. Дымар**, М.Л. Климова // Научно-техническое обеспечение развития мясной и молочной промышленности. Под. общ. ред. А.В. Мелещени. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2010. – С. 4-18.

111. Ахраменко А.А. Состояние и развитие стандартизации в мясной и молочной промышленности Республики Беларусь / А.А. Ахраменко, О.Г. Ходорева, **О.В. Дымар** // Научно-техническое обеспечение развития мясной и молочной промышленности. Под. общ. ред. А.В. Мелещени. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2010. – С. 39-50.

112. **Дымар, О.В.** Подготовка молочной сыворотки к переработке методом электродиализа / О.В. Дымар, М.В. Зубик, И.В. Миклух // Научные стремления – 2010: сб. материалов Республиканской науч.-практ. молодеж. конф. с междунар. участием (Минск, 1-3 нояб. 2010 г.), в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси; редкол.: В. В. Казбанов [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2010. – Ч. 2. – С. 577-579.

113. **Дымар, О.В.** Ферментативный гидролиз лактозы как перспективное направление в молочной промышленности / О.В. Дымар, Л.Н. Емельянова, М.В. Зубик // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 8-9 октября 2010 г.). – Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», 2010. – С. 11-16.

114. **Дымар, О.В.** Производство сухих молочных продуктов специального назначения / О.В. Дымар, Е.В. Беспалова, И.В. Миклух // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 8-9 октября 2010 г.). – Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», 2010. – С. 296-302.

115. Зубик, М.В. Продукт молочно-жировой сухой с растительными жирами / М.В. Зубик, И.В. Миклух, **О.В. Дымар** // «Инновационные процессы в АПК: Сборник статей 3-ой международной науч.-практ. конф. преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 50-летию образованию РУДН» / Под. ред.: В.Г. Плющикова; ГОУ ВПО «Российский университет дружбы народов» 13-15 апреля 2011. – М.: РУДН, 2011. – С. 110-111.

116. Емельянова, Л.Н. Исследование закономерностей процесса ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке / Л.Н. Емельянова, Т.Л. Шуляк, **О.В. Дымар** // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27-28 апреля 2011г., в 2 ч./Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редокл.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО МГУП, 2011. – Ч. 1. – С. 234.

117. Дымар, Т.И. Заменитель цельного молока с пробиотической микрофлорой для кормления новорожденных телят / Т.И. Дымар, **О.В. Дымар**, Т.А. Савельева, Н.Н. Фурик // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27-28 апреля 2011г., в 2 ч./Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редокл.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО «МГУП», 2011. – Ч. 1. – С. 271.

118. **Дымар, О.В.** Разработка технологии напитков на основе молочной сыворотки / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова, В.А. Варганов // XIV Международная научно-практическая конференция «Современные технологии сельскохозяйственного производства». Материалы конференции в 2 ч./УО «Гродненский государственный аграрный университет». Ответственный за выпуск В.В. Пешко. – Гродно: Издательско-полиграфический отдел УО «ГГАУ», 2011. – Ч.2. – С. 282-283.

119. **Дымар, О.В.** Способ удаления фосфатов кальция из молочной сыворотки / О.В. Дымар, Т.А. Савельева, Е.В. Беспалова // Материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых 14-15 апреля 2011 года. Достижения и перспективы развития сельскохозяйственной науки /ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА». Пред. оргком. Морозов В.В. – Пустошка: МУП «Пустошкинская типография», 2011. – С. 14-17.

120. **Дымар, О.В.** Нормализация молока по белку фильтратом, полученным при ультрафильтрации обезжиренного молока / О.В. Дымар, И.В. Миклух, М.В. Зубик // Материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых 14-15 апреля 2011 года. Достижения и перспективы развития сельскохозяйственной науки /ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА». Пред. оргком. Морозов В.В. – Пустошка: МУП «Пустошкинская типография», 2011. – С. 17-20.

121. **Дымар, О.В.** Сухой продукт на основе молочной сыворотки с оптимизированным жирнокислотным составом / О.В. Дымар, М.В. Зубик // Материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых 14-15 апреля 2011 года. Достижения и перспективы развития сельскохозяйственной науки / ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА». Пред. оргком. Морозов В.В. – Пустошка: МУП «Пустошкинская типография», 2011. – С. 28-30.

122. **Дымар, О.В.** Опыт организации переработки молочной сыворотки в Республике Беларусь / О.В. Дымар, М.В. Зубик // Сборник материалов международной науч.-техн. конф. «Современные достижения биотехнологии» и международного науч.-практ. семинара «Феномен молочной сыворотки: синтез науки, теории и практики», в 2 ч. – Ставрополь: НОУ «Образовательный научно-технический центр молочной промышленности», 2011. – Ч. 1. – С.46-48.

123. **Дымар, О.В.** Заменители цельного молока для телят младших возрастных групп / О.В. Дымар, А.И. Саханчук, И.В. Миклух, М.В. Зубик // Совершенствование и внедрение современных технологий получения, переработки продукции животноводства и растениеводства, 23 марта, 2011 г: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Урал. гос. академия вет. медицины. – Троицк: УГАВМ, 2011. – С. 69-76.

124. **Дымар, О.В.** Поиск рациональных путей переработки молочной сыворотки / О.В. Дымар, М.В. Зубик // Совершенствование и внедрение современных

технологий получения, переработки продукции животноводства и растениеводства, 23 марта, 2011 г: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Урал. гос. академия вет. медицины. – Троицк: УГАВМ, 2011. – С. 97-104.

125. **Дымар, О.В.** Способы получения быстрорастворимых молочных продуктов / О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, Е.В. Ефимова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы X междунар. науч.-практ. конф., 5-6 октября 2011 г., г. Минск / ред. колл. В.Г. Гусаков [и др.]. – Мн: РУП «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», 2011. – С. 93-97.

126. Беспалова, Е.В. Изучение технологических процессов при изготовлении новых высокобелковых жидких молочных продуктов специального назначения / Е.В. Беспалова, **О.В. Дымар**, Т.А. Савельева, И.В. Миклух // Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки / Материалы науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 75–летию профессора А.Т.Фарниева. Часть 1. – Владикавказ, Изд. «Горский госагроуниверситет», 2012 – Ч.1. – С. 327-329.

127. Емельянова, Л.Н. Молочная сыворотка как основа для производства низколактозных молочных продуктов / Л.Н. Емельянова, И.В. Миклух, **О.В. Дымар** // Качество продукции, технологий и образования: Материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. – Магнитогорск: МиниТип, 2012. – С.237-241.

128. Ефимова, Е.В. Разработка новых видов напитков на основе молочной сыворотки / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар**, В.А. Варганов // «Инновации аграрной науки – предприятиям АПК», материалы Международной науч.-практ. конф. (Пермь, 24-25 апреля 2012 года), в 3 ч. / науч. редкол. Ю.Н. Зубарев [и др.]. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – Ч.1. – С. 49-51.

129. Беспалова, Е.В. Оптимизация аминокислотного состава молочного сырья продукта специализированного для питания спортсменов / Е.В. Беспалова, И.С. Мартынович, Т.А. Савельева, **О.В. Дымар** // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VIII Международной науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 26-27 апреля 2012 г., в 2 ч. / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО МГУП, 2012. – Ч. 1 – С. 234.

130. Миклух, И.В. Особенности производства пермеата молочного сухого, полученного при ультрафильтрации обезжиренного молока / И.В. Миклух, **О.В. Дымар** // XV Международная науч.-практ. конф. «Современные технологии сельскохозяйственного производства». Материалы конференции. в 2 ч. – Гродно: Издательско–полиграфический отдел УО «ГГАУ», 2012. – Ч.2. – С. 305-306.

131. **Дымар, О.В.** Применение селективных методов как способов деминерализации молочного сырья / О.В. Дымар, И.С. Мартынович, Е.В. Беспалова, И.В. Миклух // Материалы международной науч.-практ. конф. Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты. 24-25 мая 2012г. Под. ред. д.т.н. Шаззо Р.И. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012. – С. 162-166.

132. Миклух, И.В. Технологические особенности производства пермеата молочного сухого / И.В. Миклух, **О.В. Дымар** // Сборник научных трудов по материалам XV международной науч.-практ. конф. «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов – вклад молодых ученых». – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. – С. 127-131.

133. Ефимова, Е.В. Методы определения растворимости и их применение для характеристики свойств сухих молочных продуктов / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар**, Т.В. Трофимова // Материалы международной науч.-практ. экологической конф. Рио+20: Итоги и перспективы. Посвящается 20-летию международной конференции в Рио-де-Жанейро «Окружающая среда и развитие». 14 выпуск. 8 июня 2012 г. – Великие Луки: ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», 2012. – С. 214-218.

134. **Дымар, О.В.** Изучение показателей, характеризующих растворимость сухих молочных продуктов / О.В. Дымар, Т.В. Трофимова, Е.В. Ефимова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 3-4 октября 2012 г. / редкол.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», 2012. – С. 306-308.

135. Беспалова, Е.В. Новый специализированный продукт для питания спортсменов / Е.В. Беспалова, **О.В. Дымар**, Т.А. Савельева, И.В. Миклух // Достижения молодых ученых в решении проблем АПК. Материалы международной науч.-практ. конф. 18-19 апреля 2012 года. Научное обеспечение, реализация Государственной программы «Развитие сельского хозяйства на 2013-2020 г.г.» ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия». – Великие Луки: РИО ФГБОУ ВПО «ВГСХА», 2012. – С. 124-129.

136. **Дымар, О.В.** Приоритетные направления развития молокоперерабатывающих предприятий Республики Беларусь / О.В. Дымар // Материалы Международной науч.–практ. конф. «Молочная индустрия Мира и Российской Федерации» по результатам выступлений специалистов молочной отрасли в рамках Международной выставки «Молочная и Мясная индустрия – 2013» 12-15 марта 2013г. – Москва, 2013. – С. 14-15.

137. Соколовская, Л.Н. Особенности производства сухой гидролизованной молочной сыворотки / Л.Н. Соколовская, А.П. Райский, **О.В. Дымар** // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития АПК: материалы международной науч.-практ. конф. в рамках XXII Международной специализированной выставки «АгроКомплекс – 2013», в 2 ч. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – Ч. 2. – С. 81-83.

138. **Дымар, О.В.** Использование концентрата микропартикулированных белков для производства творога и творожных продуктов / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова, М.Т. Серебрянская, Т.В. Трофимова, С.И. Вырина // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов IX Международной науч.-техн. конф., Могилев, 25-26 апреля 2013 г., в 2 ч. / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В.Акулич (отв.ред.) [и др.]. – Могилев: УОМГУП, 2013. – Ч.1. – С. 203.

139. Ефимова Е.В. Микропартикулированные сывороточные белки в обезжиренных молочных продуктах / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар** // Молодежь и инновации – 2013: Материалы Международной науч.-практ. конф. молодых ученых.

В 4-х ч. / Гл. ред. А.П. Курдеко. – Горки: УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2013. – Ч. 3. – С. 35-38.

140. Марченко, Н.М. Проведение сравнительной оценки показателей концентрирования микроорганизмов с различными морфологическими особенностями на баромембранной установке / Н.М. Марченко, И.В. Миклух, С.Л. Василенко, Н.Н. Фурик, **О.В. Дымар** // XIV Международная студенческая науч. конф.. Материалы конференции. Раздел – Технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. – Гродно: Издательско-полиграфический отдел ГГАУ, 2013. – С. 110-111.

141. **Дымар, О.В.** Мягкие сыры, обогащенные пробиотической микрофлорой и микропартикулированными сывороточными белками / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Инновационные процессы в АПК [Текст]: сборник статей V Международной науч.-практ. конф. преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов. Москва, 17-19 апреля 2013 г. – М.: РУДН, 2013. – С. 204-205.

142. **Дымар, О.В.** Концентраты для производства заменителей цельного молока / О.В. Дымар, Н.А. Прокопьев, И.В. Миклух, Е.Е. Ныркова, И.И. Скорб // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной науч.-практ. конф. (Минск, 11-12 апреля 2013г.). В 2 ч. / под общ. ред. В.Б. Ловкиса, В.Н. Дашкова, Т.А.Непарко. – Минск: БГАТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 157-159.

143. **Дымар, О.В.** Технологические особенности использования сухой деминерализованной сыворотки в производстве мороженого / О.В. Дымар, Е.М. Дурейко, Т.Н. Забело // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., (Минск, 2-3 октября 2013 г.) / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»: редкол.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – С. 57-59.

144. Акбулатова, М.М. Изучение свойств барды, продуктов ее концентрирования и сгущения для использования в кормлении свиней / М.М. Акбулатова, Н.А. Гончарко, М.А. Обычная, А.П. Райский, Л.Л. Богданова, С.Л. Василенко, **О.В. Дымар**, Н.Н. Фурик // Международная науч.-техн. конф. (заочная)

«Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3-4 декабря 2013 г. – Воронеж: гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. – 1 CD–R. – С. 53-58.

145. **Дымар, О.В.** Получение сухой деминерализованной сыворотки / О.В. Дымар, Е.М. Дурейко, Н.А. Прокопьев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д.А. Чудакову, В.А. Скотникову (Минск, 28-30 ноября 2013г.) / под общ. ред. И.Н. Шило. – Минск: УО БГАТУ, 2013. – С. 215-217.

146. Ефимова, Е.В. Использование микропартикулированных белков для производства мягких термокислотных сыров / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар** // Взгляд молодых учёных на техническую и технологическую модернизацию АПК. /Материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых 18-19 апреля 2013 года. ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия» – Великие Луки: ФГБОУ ВПО ВГСА, 2013. – С. 49-51.

147. Ефимова, Е.В. Использование сухих микропартикулированных белков для производства мягких сыров / Е.В. Ефимова, **О.В. Дымар** // Сборник научных трудов по материалам XVII международной науч.-практ. конф. «Инновационные направления развития АПК и повышение конкурентоспособности предприятий, отраслей и комплексов – вклад молодых ученых». – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2014. – С. 57-61.

148. **Дымар, О.В.** Использование сухих микропартикулированных сывороточных белков для производства плавленых сыров / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XVII Международной науч.-практ. конф. – Гродно: ГГАУ, 2014. – С. 37-39.

149. **Дымар, О.В.** Актуальность стандартизации сухого молока по белку / О.В. Дымар, А.П. Райский, Е.В. Ефимова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., (Минск, 1-2 октября 2014 г.) / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук

Беларуси по продовольствию»: редкол.: Гусаков В.Г. [и др.]. – Минск: ИВЦ Инфинна, 2014. – С. 87-89.

150. Кирик, И.В. Изучение процесса концентрирования, сгущения и высушивания микробной барды / И.В. Кирик, А.П. Райский, С.Л. Василенко, Н.Н. Фурик, **О.В. Дымар** // Молодежная наука 2014: технологии, инновации материалы Всероссийская науч.-практ. конф.: в 4-х частях. – Пермь, 2014. – Ч.2. – С. 52-55.

151. **Дымар, О.В.** Использование отечественных натуральных ягодных и овощефруктовых наполнителей для производства йогуртов / О.В. Дымар, Е.В. Ефимова // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XVIII Международной науч.-практ. конф. / УО «Гродненский государственный аграрный университет». – Гродно: УО ГГАУ, 2015. – С. 213-215.

152. **Дымар, О.В.** Методические подходы по определению термоустойчивости вторичного молочного сырья / О.В. Дымар, Т.Н. Забело, О.Н. Толкач // Современные достижения биотехнологии. Актуальные проблемы молочного дела: материалы V Международной науч.-практ. конф. 21-23 октября 2015 г. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015. – С.124-125.

153. **Дымар, О.В.** Подбор стабилизаторов при производстве смесей сухих для мягкого мороженого / О.В. Дымар, О.Н. Толкач, Т.Н. Забело // II Международная науч.-техн. конф. (заочная) «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» [Электронный ресурс]: сборник материалов, 4 декабря 2015 г. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т инж. технол., ВГУИТ, 2015. – С. 279-285.

Методические указания, рекомендации и инструкции

154. Дымар, О.В. Инструкция по оценке и расчету индивидуальных технологических нормативов водопотребления и водоотведения для молокоперерабатывающих организаций при использовании технологий баромембранной обработки молочного сырья / О.В. Дымар, Л.А. Шамаль. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2013. – 52 с.

155. **Дымар, О.В.** Порядок разработки, согласования и утверждения технологических инструкций на изготовление молока и молочной продукции /

О.В. Дымар, Т.В. Трофимова // Методические рекомендации. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2013. – 18 с.

156. **Дымар, О.В.** Методические рекомендации по определению норм расхода основного сырья при производстве молочных консервов, масла и сыра / О.В. Дымар, К.В. Обьедков, А.В. Мелещеня, Л.Л. Богданова // Методические рекомендации. – Минск: РУП «Институт мясо-молочной промышленности», 2013. – 55 с.

Патенты на изобретение

1. Пат. 3420 Республика Беларусь, МПК А23С. Устройство для тепловой обработки жидких пищевых продуктов. / Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №970369; заявл. 09.07.1997; опубл.30.06.2000, – Бюл.№2. – С. 77-78. (Белорусский научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт мясо-молочной промышленности)

2. Пат. 5408 Республика Беларусь, МПК А23G. Смесь для приготовления мороженого. / Дымар О.В., Филиппова Н.Б., Трофимов В.С.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №a19980837; заявл. 08.09.1998; опубл.30.09.2003, Бюл.№3 часть 1. – 89 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП»)

3. Пат. 5662 Республика Беларусь, МПК А23L. Сухой продукт для спортсменов «Гладиатор» (варианты). / Трофимов В.С., Филиппова Н.Б., Дымар О.В., Трофимова Т.В., Щетников А.В., Коваленко А.П.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №a19990417; заявл. 28.04.1999; опубл.30.12.2003, Бюл.№4 –

90-91 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП»)

4. Пат. 14690 Республика Беларусь, МПК А01J. Устройство для охлаждения молока. / Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №а20090770; заявл. 28.05.2009; опубл.30.08.2011, Бюл.№4 – 57-58 с.

5. Пат. 15007 Республика Беларусь, МПК А23С. Способ получения сухой молочной сыворотки. / Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №а20091068; заявл. 15.07.2009; опубл.30.10.2011, Бюл.№5 – 61 с.

6. Пат. 16098 Республика Беларусь, МПК А23С. Способ получения сухого молочно-жирового продукта (варианты). / Дымар О.В., Зубик М.В., Миклух И.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ) – №а20101249; заявл. 20.08.2010; опубл.30.08.2012, Бюл.№4 – 57 с.

7. Пат. 19221 Республика Беларусь, МПК А23С Напиток на основе молочной сыворотки (варианты). / Мелещеня А.В., Дымар О.В., Ефимова Е.В., Варганов В.А., Серебрянская М.Т., Вырина С.И., Трофимова Т.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №а20120824; заявл. 25.05.2012; опубл.30.06.2015, Бюл.№3 – 48 с.

Патенты на полезную модель

1. Пат. 119 Республика Беларусь, МПК А23С Теплообменник. / Дымар О.В., Мамонов Н.В., Шостак В.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №u19990085; заявл. 23.07.1999; опубл.30.03.2000, Бюл.№1. – 195 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП»).

2. Пат. 419 Республика Беларусь, МПК В01F. Устройство для гомогенизации и диспергирования жидких пищевых продуктов. / Ленъков Н.Т.; Дмитриев А.М.; Дымар О.В.; Ковалев В.Я.; Егоров А.С.; Трофимов В.С.; Новик Н.С.; Белущенко А.И.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ) – №u20010121; заявл. 22.05.2001; опубл.30.12.2001, Бюл.№4. – 202-203 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП»).

3. Пат. 1580 Республика Беларусь, МПК В01F. Устройство для гомогенизации и диспергирования жидких пищевых продуктов. / Дымар О.В., Трофимов В.С., Белущенко А.И.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №u20040078; заявл. 26.02.2004; опубл.30.09.2004, Бюл.№3. – 216 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП»).

4. Пат. 2746 Республика Беларусь, МПК А23С. Устройство для стерилизации жидких сред. / Дымар О. В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное

республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ) – №u20050705; заявл. 09.11.2005; опубл.30.06.2006, Бюл.№3. – 152 с. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «БЕЛНИКТИММП».

5. Пат. 3389 Республика Беларусь, МПК А23С. Устройство для тепловой обработки жидкого продукта. / Дымар О. В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №u20060544; заявл. 22.08.2006; опубл.28.02.2007, Бюл.№1. – 148-149 с.

6. Пат. 3490 Республика Беларусь, МПК А23С, F28D. Теплообменник. / Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №u20060646; заявл. 11.10.2006; опубл.30.04.2007, Бюл. №2. – 182-183 с.

7. Пат. 9843 Республика Беларусь, МПК F16Т. А23С, Система отвода конденсата из калориферов воздухоподогревателей. / Леонович И.С.; Раицкий Г.Е.; Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» (ВУ). – №u20130581; заявл. 09.07.2013; опубл.30.12.2013, Бюл. №6. – 223-224 с.

8. Пат. 3568 Республика Беларусь, МПК F16Т. А01J. Устройство для охлаждения молока. / Мелещеня А.В., Павлючик П.Н., Зизелюк А.М., Дымар О.В.; заявитель и патентообладатель Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Институт мясо-молочной промышленности» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ВУ). – №u20060761; заявл. 14.11.2006; опубл.30.06.2007, Бюл. №3. – 164 с.

**Перечень стандартов и методик, использованных при проведении
анализов и обработке их результатов**

1. ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 20 с.
2. ГОСТ 30347-97. Молоко и молочные продукты. Методы определения *Staphylococcus aureus*. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 1999. – 8 с.
3. ГОСТ 3626-73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 14 с.
4. ГОСТ 5867-90. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь. 2006. – 18 с.
5. ГОСТ Р ИСО 22935-1-2011. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 1. Общее руководство по комплектованию, отбору, обучению и мониторингу экспертов. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
6. ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
7. ГОСТ 3622-68. Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 12 с.
8. ГОСТ 26809-86. Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. – Минск, Госстандарт: Республика Беларусь, 2006. – 12 с.
9. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности: – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 12 с.
10. ГОСТ Р 53359-2009. Молоко и продукты переработки молока. Метод определения pH. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2010. – 11 с.

11. СТБ 1598-2006. Молоко коровье. Требования при закупках. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 20 с.
12. ГОСТ 8218-89. Молоко. Метод определения чистоты. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 6 с.
13. ГОСТ 26754-85. Молоко. Методы измерения температуры. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 4 с.
14. ГОСТ 3627-81. Молочные продукты. Методы определения хлористого натрия. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 12 с.
15. ГОСТ Р ИСО 3972-2005. Органолептический анализ. Методология. Метод исследования вкусовой чувствительности. Москва: Стандартинформ, 2005. – 11 с.
16. ГОСТ Р ИСО 5496-2005. Органолептический анализ. Методология. Обучение испытателей с обнаружению и распознаванию запахов. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 15 с.
17. ISO 4121-2003. Органолептический анализ. Методология. Оценка пищевых продуктов с помощью методов с применением шкал. – Geneva, 2003. – 14 с.
18. СТБ ИСО 11036-2007. Органолептический анализ. Методология. Профиль текстуры. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2008. – 19 с.
19. ГОСТ 26889-86. Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кьельдаля. – Минск: Госстандарт Республика Беларусь, 2006. – 12 с.
20. ГОСТ 30519-97. Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2000. – 16 с.
21. ГОСТ 10444.11-75. Продукты пищевые. Методы определения молочнокислых микроорганизмов. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2006. – 16 с.
22. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения хлоридов. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2011. – 8 с.
23. ГОСТ 29248-91. Консервы молочные. Йодометрический метод определения сахаров. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2010. – 9 с.

24. ГОСТ 15113.8-77. Концентраты пищевые. Методы определения золы. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 1992. – 8 с.
25. ГОСТ 32915-2014. Молоко и молочная продукция. Определение жирнокислотного состава жировой фазы методом газовой хроматографии. – Москва: Стандартиформ, 2015. – 12 с.
26. ГОСТ 3626-73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2007. – 14 с.
27. ГОСТ 3625-84 Молоко и молочные продукты. Методы определения плотности. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2007. – 15 с.
28. СТБ ISO 8070-2012. Молоко и молочные продукты. Определение содержания кальция, натрия, калия и магния. Спектрометрический метод атомной абсорбции. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2012. – 19 с.
29. ГОСТ Р 53761-2009. Молоко. Идентификация белкового состава электрофоретическим методом в полиакриламидном геле. – Москва: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
30. ГОСТ 26781-85. Молоко. Метод измерения pH. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2010. – 4 с.
31. СТБ ISO 8968-1-2008. Молоко. Определение содержания азота. Часть 1. Метод Кьельдаля. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2009. – 16 с.
32. ГОСТ 30178-96. Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2010. – 12 с.
33. ГОСТ 30615-99. Сырьё и продукты пищевые. Метод определения фосфора. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2003. – 8 с.
34. ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2003. – 20 с.
35. ГОСТ 25102-90. Молоко и молочные продукты. Методы определения содержания спор мезофильных анаэробных бактерий. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2003. – 20 с.

36. СТБ ISO 13366-1-2012. Молоко. Часть 1. Метод определения количества соматических клеток с применением микроскопа (контрольный метод). – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2012. – 20 с.

37. ГОСТ 26668-85. Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 4 с.

38. ГОСТ 26669-85. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

39. СТБ ГОСТ Р 51921-2011. Продукты пищевые. Метод выявления и определения бактерий *Listeria monocitogenes*. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2011. – 24 с.

40. ГОСТ 10444.12-88. Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

41. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Метод определения количества аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2010. – 8 с.

42. ГОСТ 15113.4-77. Концентраты пищевые. Методы определения влаги. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 1992. – 8 с.

43. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 8 с.

44. СТБ ISO 17997-1-2012 Молоко. Определение содержания казеинового азота. Часть 1. Косвенный метод (арбитражный метод). – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2012. – 12 с.

45. СТБ ISO 8070/IDF 119-2014. Молоко и молочные продукты. Определение содержания кальция, натрия, калия и магния. Спектрометрический метод атомной абсорбции– Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2012. – 40 с.

46. ГОСТ Р 55484-2013. Определение содержания натрия, калия, магния и марганца методом пламенной атомной абсорбции. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

47. ГОСТ 3628-84. Молочные продукты. Методы определения сахара. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 1992. – 16 с.

48. ГОСТ 30305.4-95. Продукты молочные сухие. Методика выполнения измерений индекса растворимости. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 1996. – 8 с.
49. СТБ 1552-2012. Йогурты. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2012. – 34 с.
50. СТБ ISO 735-2011. Продукты из говядины. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2011. – 16 с.
51. СТБ 1858-2009. Молоко сухое. Технические условия. – Минск: Госстандарт, Республика Беларусь, 2009. – 28 с.
53. ГОСТ Р 52791-2007. Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
54. «Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов» от 10.02.2011 г. №10 (в редакции от 20.05.2011 № 33).
55. Codex Stan 207-1999. Стандарт на сухое молоко и сухие сливки. ФАО/ВОЗ, 1999. – 6 с.
56. МВИ.МН 5155-2015. «Определение массовой доли золы в молоке и молочных продуктах». РУП «Институт мясо-молочной промышленности», №874/2015 от 18.02.2015.
57. МВИ.МН 1363-2000. Методика по определению аминокислот в продукции питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. РНПЦ по экспертной оценке качества и безопасности продуктов питания, № 236/2002 от 06.03.2002.
58. СанПиН 42-123-4940-88. Микробиологические нормативы и методы анализа продуктов детского, лечебного и диетического питания и их компонентов от 21.12.1988 г.