

Пухова Наталья Алексеевна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУХИХ ВЫСОКОЖИРНЫХ
КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ЗАМЕНИТЕЛЕЙ ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА (ЗЦМ)**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2012

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Филатов Юрий Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
заслуженный работник пищевой
индустрии РФ,
Зобкова Зинаида Семеновна
кандидат технических наук
Золотин Александр Юрьевич

Ведущая организация: Всероссийский научно-
исследовательский институт
консервной и овощесушильной
промышленности Россельхозакадемии
(ГНУ ВНИИКОП
Россельхозакадемии)

Защита состоится «__» _____ 2012 г в ____ часов на заседании диссертационного совета ДМ 006.021.01 при Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В. М. Горбатова Российской академии сельскохозяйственных наук.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26, ГНУ ВНИИМП им В.М. Горбатова Россельхозакадемии, ученому секретарю диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИМП им. В.М. Горбатова Россельхозакадемии.

Автореферат разослан «__» _____ 2012 г.

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



А. Н. Захаров

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Одним из путей, способствующих повышению эффективности молочной промышленности и животноводства в Российской Федерации, является производство заменителей цельного молока (ЗЦМ), что позволяет увеличить товарность молока, высвободить и направить на пищевые цели значительное количество цельного молока.

Теоретические и практические аспекты, а также пути оптимизации технологических процессов производства ЗЦМ исследованы в трудах таких известных ученых, как В.С. Гордезиани, А.А. Ионкина, Н.А. Смекалов, В.И. Сироткин, А.Г. Храмцов, Н.Б. Липатов, В.Д. Харитонов, М.В. Залашко, И.А. Радаева, И.А. Евдокимов, Ю.И. Филатов, Н.Б. Гаврилова и др.

В 2011 г. в Российской Федерации численность крупного рогатого скота (КРС) составила 9,2 млн. голов, в том числе 8,3 млн. телят. Общая потребность в ЗЦМ при выпойке телят в ранний период их жизни составляет около 100 тыс. т в год.

Существующая традиционная технология производства ЗЦМ на основе обезжиренного молока с помощью распылительной сушки в силу высоких производственных и энергетических затрат не позволяет производить конкурентоспособную продукцию. Современные рецептуры ЗЦМ основаны на использовании молочной сыворотки и растительных жиров, что позволяет рационально использовать сырьевые ресурсы молочной промышленности и получать заменители молока высокой биологической и кормовой ценности.

Перед кормовой отраслью в настоящее время стоит задача освоения прогрессивного метода производства ЗЦМ, основанного на смешивании сухих ингредиентов (сухое смешивание), достоинством которого является относительная простота и, как следствие, более высокие экономические показатели по сравнению с традиционной технологией. При использовании технологии сухого смешивания жировая композиция, вносимая в порошкообразную основу ЗЦМ, как и другие составляющие ингредиенты, должна обладать сыпучими свойствами. На данный момент отечественная промышленность не производит сухих высокожирных компонентов ввиду отсутствия научнообоснованных и практически подтвержденных знаний по защищенности жировой фазы подобно защищенности жировых шариков природными оболочками в натуральном молоке.

Производство отечественной промышленностью сухих высокожирных компонентов (СВК) позволит освоить прогрессивный метод получения ЗЦМ сухим смешиванием не только на специализированных предприятиях, но и непосредственно на животноводческих комплексах.

В этой связи разработка технологии сухих высокожирных компонентов на основе молочной сыворотки и жиров растительного происхождения для

производства ЗЦМ является актуальной проблемой, её решение ускорит внедрение в промышленность прогрессивного способа, что будет способствовать увеличению объемов вырабатываемых заменителей цельного молока и, как следствие, выходу кормовой отрасли из импортной зависимости.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка технологии сухого высокожирного компонента (СВК) со стабилизированной жировой фазой, используемого для производства ЗЦМ методом смешивания сухих ингредиентов.

Для достижения указанной цели последовательно ставились и решались следующие задачи:

- предложить гипотезу двухслойного строения оболочки жировых частиц в искусственных эмульсиях на основе растительных жиров и концентрированной молочной сыворотки;
- разработать методику оценки поверхностной активности веществ при их взаимодействии, и выбрать наиболее активный эмульгатор для создания устойчивой эмульсии;
- провести поиск и по результатам экспериментальных исследований найти способ капсулирования жирового шарика дополнительным слоем, способным надежно защитить его от различных физико-химических и механических воздействий;
- разработать физическую модель многослойного строения оболочки жировых шариков на основе последовательного расположения слоев веществ по их поверхностной активности;
- определить оптимальные режимы гомогенизации и исследовать физические свойства молочно-жировых эмульсий;
- рассчитать удельные массы слоев оболочечных веществ и разработать рецептуры, технологическую документацию и аппаратную схему производства сухих высокожирных компонентов;
- определить рациональные режимы сушки и исследовать физико-химические и механические показатели сухого высокожирного компонента в процессе хранения;
- провести апробацию технологии ЗЦМ сухим смешиванием с использованием СВК.

Объекты исследования. Объектами исследований являлись эмульсии на основе растительных жиров и концентрированной молочной сыворотки; вещества, формирующие адсорбционные слои в оболочке жировых шариков; поверхностные явления на границе раздела фаз взаимодействующих веществ; физико-химические и механические показатели сухого готового компонента.

Научная новизна работы:

- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена физическая модель последовательного формирования слоев оболочки жировых шариков немолочного происхождения в соответствии с адсорбционной активностью элементов, составляющих искусственные эмульсии;
- установлена зависимость размеров жировых шариков в молочно-жировых концентратах от давления гомогенизации;
- научно обоснована и экспериментально подтверждена роль полисахаридов в качестве защитного капсулирующего слоя в оболочке жировых шариков, обеспечивающих пролонгированные сроки годности.

Практическая значимость работы:

- разработана методика оценки поверхностной активности при взаимодействии веществ, участвующих в формировании слоев оболочки жировых шариков;
- рекомендованы оптимальные условия гомогенизации и рациональные режимы сушки молочно-жировых эмульсий при производстве сухих высокожирных компонентов для ЗЦМ методом сухого смешивания;
- установлены сроки хранения сухих высокожирных компонентов;
- разработаны рецептуры, технология на высокожирный компонент, аппаратно-технологическая схема и техническая документация (ТУ 9226-456-00419785-09 «Продукты углеводно-жировые сухие») на промышленное производство сухих высокожирных компонентов с содержанием растительных жиров 50 и 55%. Освоено промышленное производство СВК на молочном заводе «Сыр Стародубский» Брянской области;
- экономический эффект за счет импортозамещения (цена аналогичного импортного продукта - 60 руб/кг, отечественного – 45 руб/кг) в пересчете на 1 тонну готового ЗЦМ составляет 3050 руб.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены и одобрены на конференции молодых ученых и специалистов институтов «Отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Россельхозакадемии», г. Москва, 2010; на всероссийской научно-практической конференции «Липатовские чтения», г. Москва, 2010; на всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы в области создания инновационных технологий сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов», г. Углич, 2011; на международной научно-практической конференции «Инновационные технологии – основа модернизации отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Волгоград, 2011; на международном научно-практическом семинаре «Феномен молочной сыворотки: синтез науки, практики и инноваций», г. Ставрополь, 2011; на конференции молодых ученых и специалистов «Современные методы направленного изменения физико-химических и технологических свойств сельскохозяйственного сырья для производства продуктов здорового питания», г. Москва, 2011.

Работа удостоена серебряной медали за II место конкурса научно-инновационных работ молодых ученых за 2011 г.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. гипотеза двухслойного строения оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях на основе растительного жира и молочной сыворотки;
2. методика оценки поверхностной активности веществ при их взаимодействии;
3. способ капсулирования жирового шарика дополнительным слоем, способным надежно защитить его от различных физико-химических и механических воздействий;
4. физическая модель многослойного строения оболочек жировых шариков в эмульсиях, образованных молочной сывороткой и жирами немолочного происхождения;
5. технология сухих высокожирных компонентов (СВК).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, отражающих содержание диссертации по основным вопросам, в том числе 2 публикации в журналах списка ВАК. Подано 3 заявки на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, литературного обзора, методической части, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 118 стр.; содержит 9 табл.; 15 рисунков; 138 литературных источников; 2 приложения.

Содержание работы

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

В первой главе «Состояние вопроса» дан подробный обзор по исследованиям отечественных и зарубежных авторов о строении и формировании природных слоев оболочки жировых шариков в молоке.

Существует обширный материал по исследованию и научным концепциям строения оболочек жировых шариков в молоке. Этим исследованиям посвящены научные работы зарубежных авторов, таких как N. King, R. Morton, P. Walstra, H. Mulder и др., а также отечественных ученых – П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина, П.Ф. Дьяченко, И.Н. Влодавца, В.В. Вайткуса, А.П. Белоусова, Н.И. Козина, Г.И. Клебанова, Л.С. Толстухиной, В.П. Аристовой, А.Н. Петрова и др.

Несмотря на большое число работ, посвященных этой теме, вопрос о строении натуральной оболочки жирового шарика молока остается дискуссионным. Механизм формирования структуры адсорбционных оболочек жировых шариков в искусственно создаваемых эмульсиях в литературе вообще не приводится.

Согласно общепринятым представлениям в процессе секреции молока его жировые шарики стабилизируются нативными фосфолипидами, играющими роль поверхностно-активных веществ. Большинство исследователей считают оболочку жировых шариков двухслойной. Особенно важную роль играет первый слой, плотно связанный с жировым ядром и структурально подобен мембране секреторной клетки. Он сравнительно прочен и состоит из различных липипропротеидов с высоким содержанием фосфолипидов и ферментов.

Основная функция оболочек жировых шариков – обеспечение высокой стабильности эмульсии посредством противодействия процессам слияния жировых глобул и автоокисление свободного жира.

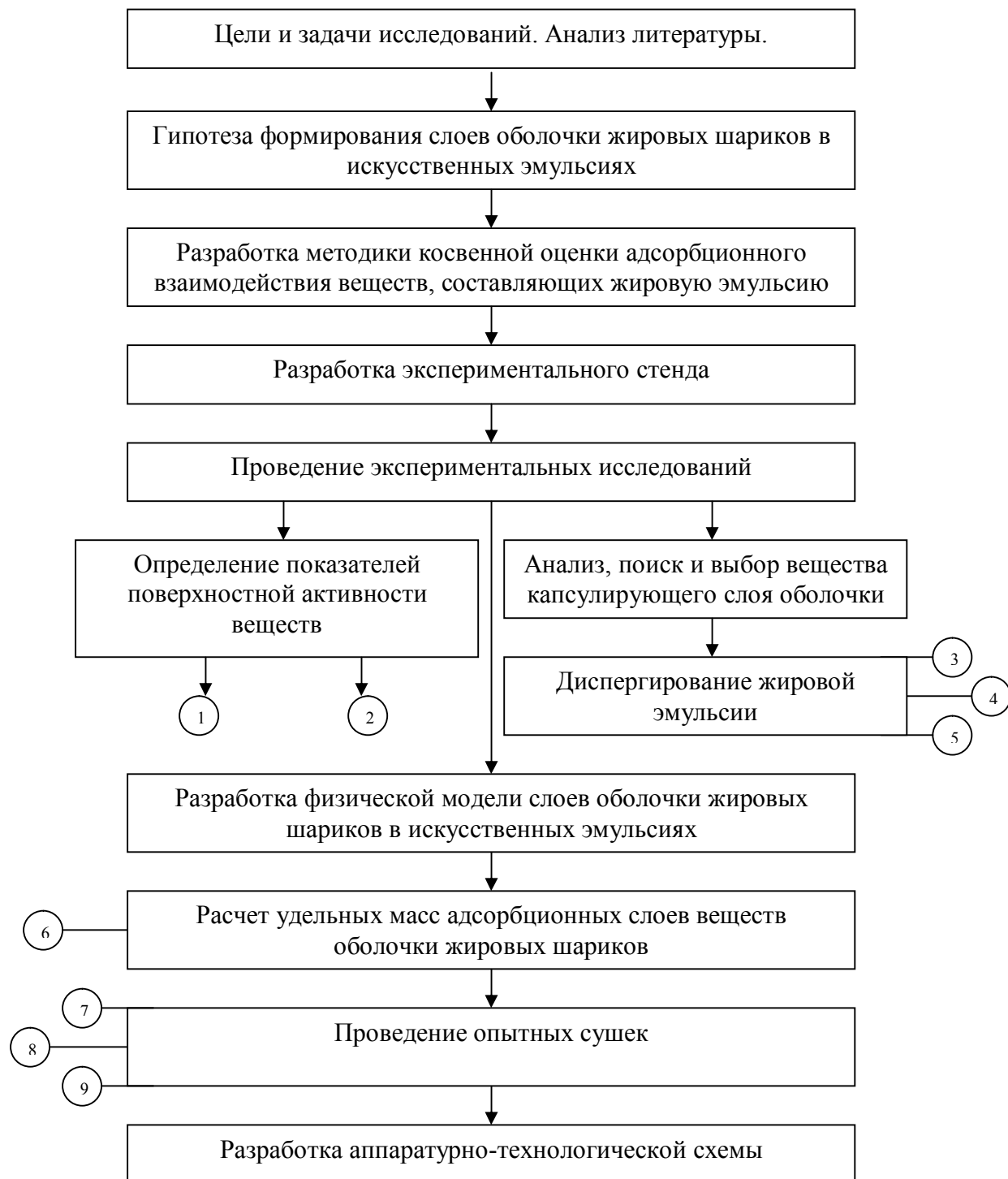
Наряду с нативными оболочками существуют искусственные оболочки, возникающие в результате адсорбции поверхностно-активных молекул плазменных компонентов на поверхности жировых шариков, образующихся при гомогенизации.

На основании анализа литературного обзора можно предполагать, что при создании искусственных эмульсий, содержащих жиры немолочного происхождения, механизм формирования адсорбционных слоев оболочек жировых шариков будет определяться теми же закономерностями, характерными для натурального молока.

Во второй главе «Объекты и методы исследований» изложена методология исследований.

Объектами исследований являлись: искусственные молочно-жировые эмульсии на основе растительных жиров и концентратов молочной сыворотки; различные белки – концентрат сывороточных белков (ТУ 10-02-02-44-87), изолят соевых белков СУПРО 760 (SUPRO 760) (свидетельство о государственной регистрации № 50.99.01.009.У.000424.12.07); углеводы – мелкокристаллическая лактоза с размером кристаллов не более 5 мкм (ТУ 9229-128-04610209-2003 «Сахар молочный»), декстринмальтоза (ГОСТ 6034-74 «Декстрины. Технические условия», Е1400); масло растительное рафинированное кокосовое дезодорированное отбеленное (сертификат соответствия С-МУ.АВ29.В.06255), пальмовое масло рафинированное дезодорированное (ТИ 9141-017-00365617-2006, сертификат соответствия С-РУ.АЕ71.В.00142), жир свиной топленый пищевой (ГОСТ 25292-82); эмульгаторы пищевые отечественные и импортные, имеющие сертификаты соответствия.

Гомогенизацию осуществляли на лабораторном двухступенчатом гомогенизаторе IPV с производительностью 50 л/ч. Апробацию проводили на полупромышленной противоточной распылительной сушильной установке фирмы Niro Atomizer с производительностью 25 кг по испаренной влаге в час. Исследования проводились по стандартизованным и опубликованным методам. На рис. 1 представлена схема проведения исследований.



- 1 – исследование и определение показателей поверхностной активности эмульгаторов и белково-углеводных веществ;
- 2 – выбор наиболее активного ПАВ;
- 3 – измерение вязкостных характеристик молочно-жировых эмульсий;
- 4 – измерение размеров жировых шариков в молочно-жировых эмульсиях в зависимости от давления и содержания массовой доли сухих веществ в молочно-жировой эмульсии;
- 5 – определение оптимальных режимов гомогенизации (давление, температура);
- 6 – составление рецептов компонентов при получении молочно-жировых эмульсий;
- 7 – определение рациональных режимов сушки высокожирных эмульсий;
- 8 – определение режимов охлаждения сухих компонентов;
- 9 – определение физико-химических и механических показателей сухих высокожирных компонентов в процессе хранения.

Рис. 1. Структурная схема исследований.

Массовую долю жира определяли по ГОСТ 29247-91 «Консервы молочные. Методы определения жира»; массовую долю влаги – по ГОСТ 29246-91 «Консервы молочные сухие. Методы определения влаги»; показатель окислительной порчи жира – по ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности»; кислотность – по ГОСТ Р 50457-92 «Жиры и масла животные и растительные. Определение кислотного числа и кислотности»; перекисное число – по ГОСТ 26593-85 «Масла растительные. Метод измерения перекисного числа»; индекс растворимости – по ГОСТ 30305.4-95 «Продукты молочные сухие. Методика выполнения измерений индекса растворимости». Количество свободного жира – по методу, основанному на выделении жирных кислот с пересчетом на значение свободного жира (IDF 68A:1977, метод ВНИМИ); вязкость молочно-жировых эмульсий определяли вискозиметром Гепплера при 50°C. Органолептические, физико-химические, микробиологические показатели, а также показатели безопасности в образцах сухого готового продукта определялись в соответствии с действующими нормативными документами. Дисперсность жира в эмульсии оценивали методом микроскопического анализа по распределению жировых шариков в размерных классах при увеличении x400.

Измерения проводили в 5-кратной повторности.

В третьей главе – «Экспериментальная часть» представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по формированию оболочек жировых шариков в искусственных эмульсиях.

Разработка методики оценки поверхностной активности. Для изучения поверхностных явлений на границе раздела фаз между компонентами молочной сыворотки и жира была разработана упрощенная методика оценки поверхностной активности взаимодействующих между собой элементов эмульсии. Методика основана на известном в молекулярной физике и коллоидной химии явлении – смачивании, т.е. способности (или неспособности) одного вещества растекаться по поверхности другого за счет сил молекулярного сцепления.

Суть метода заключалась в измерении площади растекания пятна и скорости смачивания капли адсорбтива по жидкой поверхности адсорбента. При этом смачиваемость, выраженную размером площади пятна растекания, ассоциировали с величиной поверхностной активности данного вещества.

Для проведения исследований был разработан экспериментальный стенд, позволяющий измерять степень смачиваемости одного вещества по поверхности другого при фиксированной температуре. Стенд включает в себя обогреваемый элемент с термостатируемыми контейнерами, цифровой мультиметр с термопарой, иглу-дозатор и цифровой секундомер.

Предварительные эксперименты показали, что динамика скорости смачивания изучаемых растворов и расплавов веществ относительно друг друга при $t=62\pm 3^\circ\text{C}$ носила общий характер и выражалась в том, что скорость смачивания

(идентифицированная как площадь растекания) резко возрастает в первые секунды, а иногда и доли секунды, после чего скорость смачивания падает, достигая через 6-15 с стабилизации, что свидетельствует о практически полном прекращении процесса молекулярного взаимодействия веществ.

Для количественной оценки смачивания были введены следующие индексы поверхностной активности, выраженные значением площади растекшегося пятна, m^2 : $C_{П-ж}$ – смачиваемость ПАВ по жиру (гидрофобная смачиваемость); $C_{В-П}$, $C_{Б-П}$, $C_{У-П}$, $C_{У-Б}$ – смачиваемость, соответственно: вода по ПАВ, белок по ПАВ, углеводы по ПАВ, углеводы по белку (гидрофильная смачиваемость).

$$D = \frac{C_{В-П}}{C_{П-ж}} - \text{степень дифильности молекулы эмульгатора,}$$

где при $D < 1$ – эмульгатор более активен к жировой фазе;

при $D = 1$ – эмульгатор одинаково активен как к воде, так и к жиру;

при $D > 1$ – эмульгатор более активен к полярным (гидрофильным) фазам.

Кроме того, был принят показатель совокупной смачиваемости – C_0 – представляющий собой сумму гидрофильной и гидрофобной смачиваемости: $C_0 = C_{В-П} + C_{П-ж}$.

Исследование поверхностной активности эмульгаторов (ПАВ). В отличие от идеальной эмульсии, к которой относится молоко, и где жировые шарики в результате секреции молочных желез имеют природные оболочки, в исследуемых эмульсиях жировая фаза ничем не защищена. Более того, растительные жиры и компоненты молочной сыворотки в силу их химического различия имеют противоположную полярность, что практически исключает их взаимную адсорбцию.

Таким образом, для продолжения дальнейших исследований необходимо было первоначально найти механизм, позволяющий изменить гидрофобное (неполярное) состояние поверхности жировых шариков на гидрофильное (полярное).

Согласно правилу Ребиндера П.А., при наличии двух не реагирующих между собой веществ требуется присутствие третьего компонента, способного скомпенсировать скачок полярностей на границе раздела фаз. Роль таких веществ в искусственных эмульсиях выполняют синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ) или эмульгаторы, молекулы которых обладают биполярными свойствами (иначе дифильностью), подобно фосфолипидам в молоке. При этом образуется переходный слой, который сглаживает разность полярностей на границе раздела реагирующих фаз и усиливает межфазную активность с элементами плазмы молочной сыворотки.

Основанием для выдвижения гипотезы о двухслойном строении оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях послужил вышеизложенный механизм. Первым слоем во вновь формирующейся оболочке жирового шарика, и непосредственно прилегающим к жиру, должен являться мономолекулярный слой ПАВ (эмульгатора), который вследствие изменения полярностей активизирует адсорбцию гидрофильных элементов молочной сыворотки (сывороточных белков, углеводов и макроэлементов), создавая вторичный слой.

Учитывая многообразие видов ПАВ, был выбран ряд пищевых эмульгаторов, наиболее широко применяемых в промышленности. Экспериментальные значения поверхностной активности эмульгаторов по отношению к пальмовому жиру, полученные с использованием вышеописанной методики, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Индексы поверхностной активности синтетических эмульгаторов
(абсолютная погрешность экспериментов $\pm 3,2\%$)

Эмульгаторы*			Индексы поверхностной активности $\cdot 10^{-4}$, м ²			
№	содержание α -моноэфира, %	t _{пл} , °С	C _{п-ж}	C _{в-п}	Д	C _о
1	90	67	6,2	7,1	1,1	13,3
2	70	56	1,5	0,5	0,3	2,0
3	90	53	0,5	0,8	1,6	1,3
4	90	65	4,2	0,38	0,1	4,58
5	90	52	2,8	0,8	0,28	3,6
6	60	54	1,76	0,78	0,4	2,54
7	55	60	0,38	0,63	1,6	1,01

*Отечественные эмульгаторы: 1 – моноглицериды дистиллированные, 2 – эфиры моноглицеридов и лимонной кислоты, 3 – эфиры полиглицерина и жирных кислот.

Импортные эмульгаторы Palsgaard (Дания): 4 – дистиллированные моно- и диглицериды жирных кислот, 5 – дистиллированные моно- и диглицериды жирных кислот, 6 – стеароил-2-лактат натрия (SSL), 7 – моно- и диглицериды жирных кислот.

Динамика скорости смачивания эмульгаторов по поверхности жира представлена на рис. 2.

Из таблицы и графика видно, что наибольшей поверхностной активностью и скоростью смачивания обладает отечественный эмульгатор 1 на основе моноглицеридов дистиллированных (МГД), который был выбран для проведения дальнейших исследований. У импортных образцов эмульгаторов (4, 5, 6, 7) смачиваемость по жиру была несколько ниже отечественного.

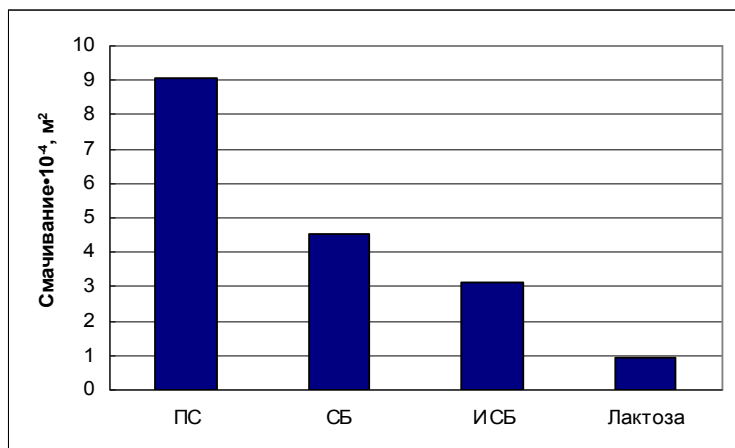


Рис. 2. Динамика скорости смачивания эмульгаторов по поверхности жира ($t=62\pm 3^{\circ}\text{C}$)

Защитный капсулирующий слой в оболочке жирового шарика. Одним из пороков качества сухих жиросодержащих молочных продуктов является присутствие свободного поверхностного жира. По данным Харитонов В.Д. этот показатель для сухого цельного молока не должен превышать 35%. Появление свободного незащищенного жира на поверхности сухих частиц объясняется пористостью самих сухих частиц и оболочек жировых шариков, в результате которой жир под действием капиллярных сил мигрирует из центра частицы к ее внешней поверхности, образуя на ней локальные жировые скопления.

Для устранения возможного проявления этого порока необходимо было решить проблему, связанную с упрочнением оболочки жирового шарика специальным слоем. Были сформулированы требования к поисковому веществу, которое должно: иметь полярную природу, обладать высокой смачиваемостью, не образовывать монокристаллическую решетку (подобно лактозе), и иметь аморфное состояние в виде тонкой пленки, устойчивой к деформациям даже после высыхания. С этой целью были проведены поисковые исследования, в результате которых удалось выбрать специальное вещество, являющееся полисахаридом (ПС), и относящееся по своей природе к одному из видов декстринмальтозной патоки.

Экспериментально установлено, что полисахарид обладает более высокой поверхностной активностью к эмульгатору по сравнению с белками и лактозой (Рис. 3). Это явилось основанием утверждать, что в оболочке жирового шарика

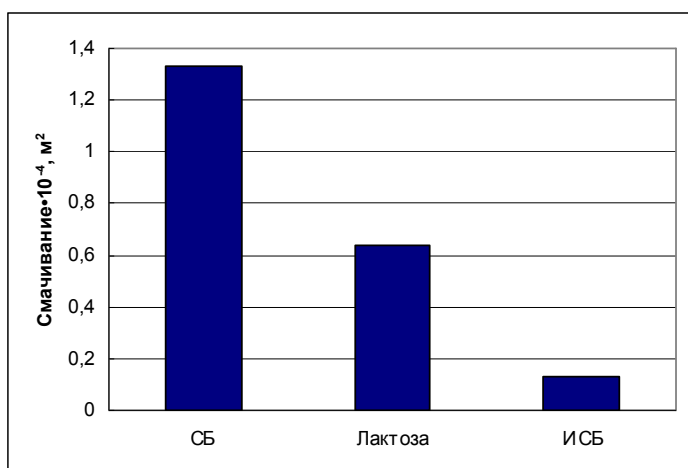


следующим слоем после эмульгатора сформируется второй слой из полисахарида, который будет играть роль защитной капсулирующей мембраны липидного ядра.

Рис. 3. Величины смачивания веществ по поверхности эмульгатора (МГД)

ПС – полисахарид, СБ – сывороточные белки, ИСБ – изолят соевого белка

Для определения последующих слоев были измерены значения величин смачивания (поверхностной активности) белков и лактозы к поверхности полисахарида. Из данных, представленных в виде гистограммы на рис. 4, видно,



что наибольшую смачиваемость, а значит и активность, к полисахариду проявляют сывороточные белки, чуть меньшую – лактоза, и наименьшую активность изоляты соевых белков.

Рис. 4. Величины смачивания белков и лактозы по поверхности полисахарида

СБ – сывороточные белки, ИСБ – изолят соевого белка

Эффект смачивания лактозы по белкам (сывороточным и соевым) оказался весьма низким. Из компонентов сыворотки незначительную смачиваемость к пальмовому жиру проявили сывороточные белки.

Таким образом, на основании полученных результатов для формирования дополнительного защитного слоя был предложен полисахарид, обладающий наибольшей поверхностью активностью по отношению к жиру.

Анализ результатов проведенных исследований позволил развить ранее предложенную гипотезу о двухслойном строении оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях и разработать новую физическую модель расположения мономолекулярных слоев в оболочке по их поверхностной активности.

Первым слоем, сглаживающим полярность фаз, является эмульгатор (МГД); далее располагается капсулирующий защитный слой полисахарида, затем сывороточные белки, и наконец, углеводно-минеральный слой (Рис. 5).

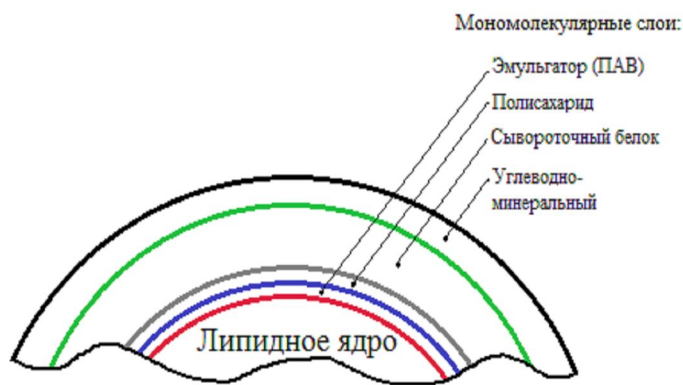


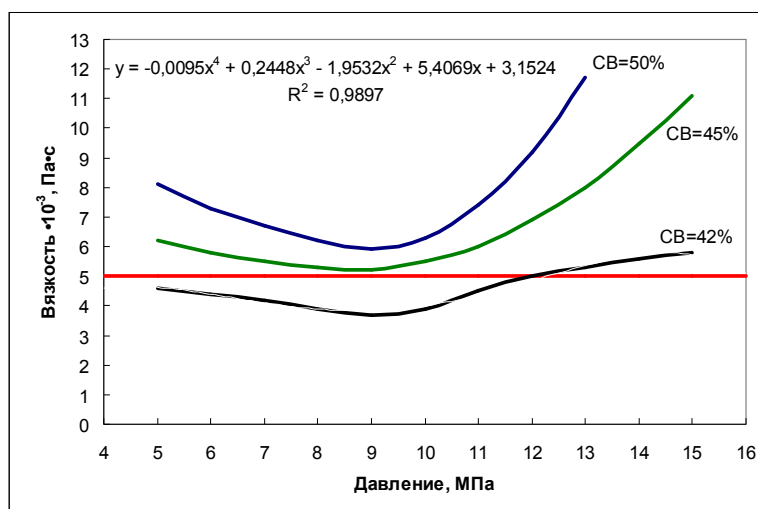
Рис. 5. Физическая модель последовательности формирования слоев искусственной оболочки жировых шариков в эмульсии

Исследование и разработка режимов диспергирования при формировании устойчивой адсорбционной оболочки жировых шариков. Определяющим условием возникновения межфазного взаимодействия поверхностных сил является вывод системы из устойчивого равновесия. Наиболее распространенным способом вывода жидкой гетерогенной системы из равновесного состояния является диспергирование, в частности гомогенизация, в процессе которой происходит дробление крупных жировых глобул на мельчайшие сферические шарики. При этом находящееся в контакте с жиром поверхностно-активное вещество, заранее внесенное в жир, мгновенно образует на внешней поверхности жировых шариков прочный мономолекулярный слой.

Поскольку образование новой поверхности (за счет диспергирования) всегда связано с преодолением сил молекулярного сцепления, то одновременно с появлением избытка свободной энергии возникает неуравновешенное поле поверхностных сил. Действие этих сил активизирует самопроизвольные адсорбционные процессы на границе раздела фаз в результате гомогенизации, и за счет взаимодействия дисперсных частиц между собой по закону случайных событий осуществляется формирование слоев оболочек жировых шариков.

Исследования проводили на лабораторном гомогенизаторе клапанного типа. При этом определяли показатели изменения динамической вязкости эмульсий и дисперсности жировой фазы как функции давления гомогенизации. На рис. 6 показаны графические зависимости изменения вязкости эмульсий с различными массовыми долями сухих веществ. В исследуемых эмульсиях соотношение массовых долей жира и сыворотки соответствовало соотношению этих показателей в сухом продукте, содержащем 55% жира.

Горизонтальная линия на графике показывает максимально допустимую вязкость эмульсий для нормальной работы насосов объемного типа, используемых



для подачи продукта на распылительную сушку. Было определено, что значение массовой доли сухих веществ в эмульсии, направляемой на сушку, должно составлять 42-43%, давление гомогенизации – 9 ± 1 МПа на первой ступени и $3 \pm 0,5$ МПа на второй ступени, при температуре не ниже $62 \pm 3^\circ\text{C}$.

Рис. 6. Изменение динамической вязкости эмульсий с различной массовой долей сухих веществ (СВ)

Дисперсность эмульсий после гомогенизации определяли с помощью электронного микроскопа. На рис. 7 показана графическая зависимость средних размеров диаметров жировых шариков от давления гомогенизации (кривая усредненных значений). Из графика видно, что при рекомендуемом давлении порядка 9 ± 1 МПа средний диаметр жировых шариков составляет 1,2 мкм.

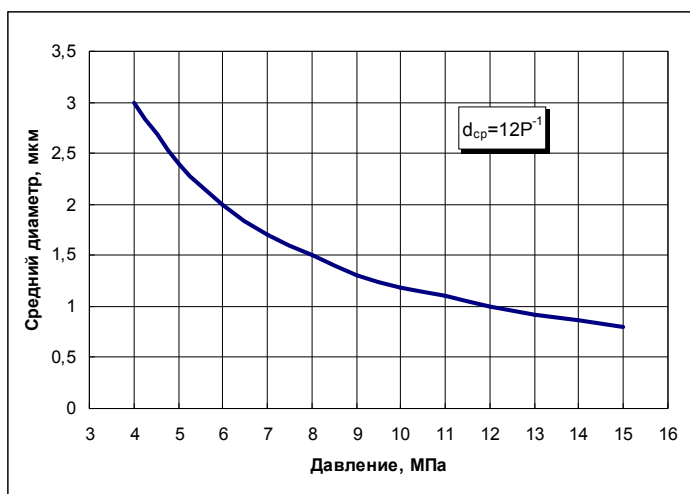


Рис. 7. Дисперсность жировых шариков в зависимости от давления гомогенизации

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить формулу для расчета среднего диаметра жировых шариков от давления гомогенизации:

$$d_{cp} = 12 \cdot P^{-1}, \quad (2)$$

где d_{cp} – средний диаметр жировых шариков, мкм;

P – давление гомогенизации, МПа.

Расчет удельных масс оболочечных веществ. Для разработки производственных рецептов компонентов требуются достоверные знания количественного состава веществ, составляющих оболочку жировых шариков.

Расчет удельных масс оболочечных веществ проведен в пересчете на 100 г жира. Допуская, что слои в оболочке жировых шариков располагаются в виде мономолекулярных пленок, за толщину этих пленок (слоев) принимали размеры молекул оболочечных веществ, в соответствии с данными литературных источников. Массы оболочечных веществ рассчитывали, исходя из предположения, что образующиеся в результате гомогенизации жировые глобулы имеют форму шара, а адсорбционные слои оболочки – полый сферы.

В табл. 2 представлены значения удельных масс оболочечных веществ в пересчете на 100 г жира для соответствующих диаметров жировых шариков в эмульсии.

Таблица 2

Удельные массы оболочечных веществ (на 100 г жира) в зависимости от диаметра жирового шарика

Диаметр жирового шарика, мкм	Удельные массы оболочечных веществ, г на 100 г жира		
	Эмульгатор	Полисахарид	Белок
0,8	2,3	3,9	12,6
0,9	2,0	3,4	10,7
1,0	1,8	3,1	9,6
1,1	1,6	2,8	8,7
1,2	1,5	2,6	7,9
1,3	1,4	2,4	7,3
1,4	1,3	2,2	6,7
1,5	1,2	2,0	6,3

Обобщающая математическая формула для расчета удельной массы любого слоя оболочечного вещества имеет вид:

$$M_n = \pi \cdot \rho_n \cdot \left(d_0 + 2 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} \delta_k + \delta_n \right)^2 \cdot \delta_n, \quad (3)$$

где M_n – масса n-го слоя оболочки, кг;

ρ_n – плотность n-го слоя оболочки, кг/м³;

d_0 – диаметр жирового шарика, м;

δ_n – толщина n-го слоя, м;

δ_k – толщина текущего слоя, м;

n – количество слоев.

По данным, приведенным в табл. 2, были рассчитаны реальные массы этих веществ при составлении производственных рецептов на сухой жировой компонент.

При изменении соотношения массовой доли жира и сыворотки в готовом компоненте соответственно меняется доля сывороточного белка. Исходя из балансового расчета, превышение содержания жира в сухих готовых компонентах

выше 50% приводит к дефициту сывороточных белков, необходимых для формирования белкового слоя в оболочках жировых шариков. В этом случае в исходное сырье необходимо вносить дополнительное количество белков (молочных или растительных). На рис. 8 представлена номограмма, при помощи которой, зная дисперсность эмульсии (средний диаметр жировых шариков) и массовую долю жира в готовом компоненте, можно определить необходимое количество дополнительно вносимого белка. Наклонная прямая линия на номограмме разделяет её на 2 зоны: нижняя зона соответствует условиям, при которых не требуется дополнительного введения в рецептуру сывороточного белка; верхняя – определяет дефицит белка, что требует направленной корректировки рецептур по белковой компоненте.

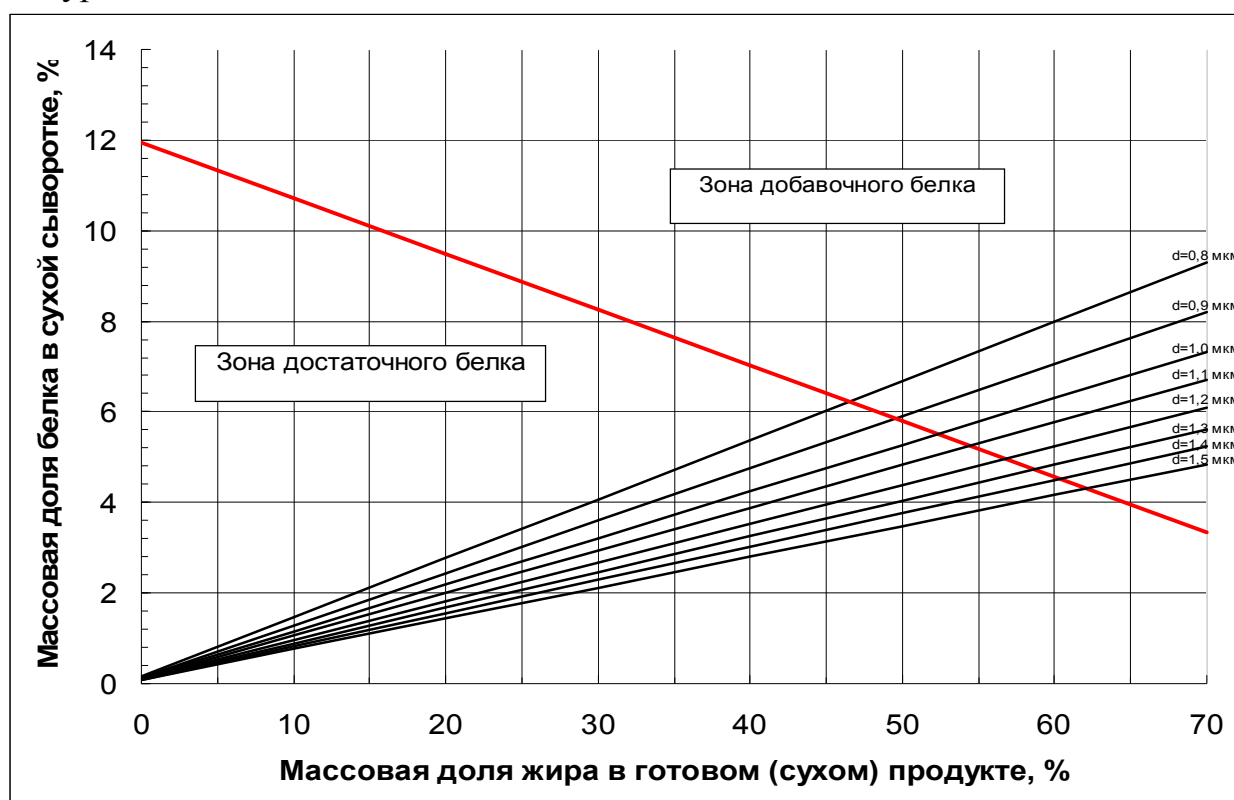


Рис. 8. Номограмма для определения необходимого количества вносимого белка

Апробация технологии сухого высокожирного компонента (СВК). Для проведения опытных сушек были разработаны рецептуры СВК, куда были включены помимо основных ингредиентов (жира и молочной сыворотки), расчетные массы эмульгатора и полисахарида. Для сушки готовили эмульсии на основе пальмового жира и концентрата молочной сыворотки (м.д. с.в. 27,4%), в расчете выработки готового компонента с содержанием массовой доли жира 55%. После предварительного эмульгирования и гомогенизации концентрированную молочно-жировую эмульсию подавали на сушку.

Учитывая высокое содержание жира в готовом компоненте и возможность налипания его на стенки сушильной башни, скорость вращения диска была

увеличена со 130 об/мин до 165 об/мин, а также изменен угол наклона лопаток воздухораспределителя с 30° до 15°. Кроме того, в молочно-жировую эмульсию был введен пищевой стабилизатор – диоксид кремния (Е 551) в количестве 0,2%. Это позволило увеличить дисперсность распыла частиц продукта, изменить аэродинамику воздуха и тем самым значительно снизить налипание продукта на стенки сушильной башни. В результате проведенных действий были достигнуты рациональные температурные режимы сушки: $t_{вх}=170\pm 5^{\circ}\text{C}$, $t_{вых}=75\pm 2^{\circ}\text{C}$.

После сушки компоненты охлаждали на лабораторном виброаппарате с продуванием холодного воздуха до температуры на 10-15°С ниже температуры кристаллизации пальмового жира. Образцы были заложены на хранение при температуре $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 67%.

В процессе хранения в образцах сухих компонентов через каждый месяц определяли физико-химические показатели: растворимость, содержание свободного жира, перекисные и кислотные числа. Исследовались 3 опытных образца экспериментальных сушек. Образец №1 не содержал эмульгатор и полисахарид, образец №2 включал в себя отечественный эмульгатор МГД, но не содержал полисахарид, образец №3 имел в своем составе эмульгатор и полисахарид. Кинетика окислительных процессов представлена на рис. 9, а значения показателей свободного жира и индексы растворимости этих образцов – в табл. 3.

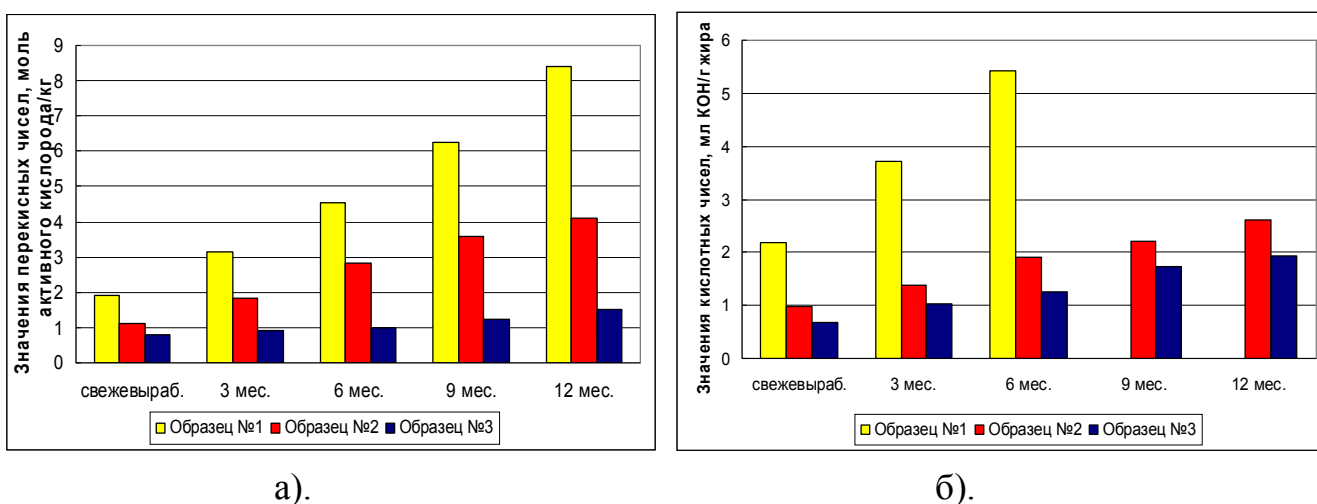


Рис. 9. Кинетика окислительных процессов:
а – перекисные числа, б – кислотные числа

Наилучшими показателями по перекисным и кислотным числам обладает образец № 3, в исходную молочно-жировую эмульсию которого были внесены эмульгатор и полисахарид. В образцах №2 и №3 за период хранения показатели перекисных и кислотных чисел хотя и увеличивались, но не превысили допустимых значений. В образце №1 значение кислотного числа превысило допустимую норму после 5 мес. хранения, после чего он был снят с хранения. В

образце №2 содержание свободного жира после 8 мес. хранения достигло предельно допустимой нормы.

Таблица 3

Значения показателей свободного жира и индекса растворимости
сухого компонента

№ образцов	Время хранения	Содержание свободного жира, %	Индекс растворимости, см ³ сырого осадка
1	свежевыраб.	2,36±0,02	0,3
	3 мес.	3,35±0,02	0,7
	6 мес.	3,87±0,02	-
2	свежевыраб.	1,30±0,02	0,2
	3 мес.	1,65±0,02	0,3
	6 мес.	3,55±0,02	0,35
	9 мес.	4,29±0,02	0,4
3	свежевыраб.	0,85±0,02	0,15
	3 мес.	0,99±0,02	-
	6 мес.	1,39±0,02	0,2
	9 мес.	2,65±0,02	0,2
	12 мес.	3,07±0,02	0,2

Анализируя представленные на рис. 9 и в табл. 3 результаты физико-химических показателей в опытных образцах сухих жировых компонентов в процессе хранения можно утверждать, что образец №3, содержащий эмульгатор и полисахарид, выдерживает длительность хранения до 12 месяцев при температуре не выше 10°C и относительной влажности воздуха до 70%.

Сыпучесть сухого компонента оценивали по углу естественного откоса, который составил для образца №3 50-55°, что свидетельствует о близости этого показателя к сухому цельному молоку.

По результатам проведенных исследований и опытных сушек разработаны рецептуры на сухие компоненты с содержанием жира 50% и 55% для промышленного производства, технологические параметры и нормативная документация (ТУ, ТИ). Блок-схема технологического процесса производства сухих высокожирных компонентов для ЗЦМ представлена на рис. 10.

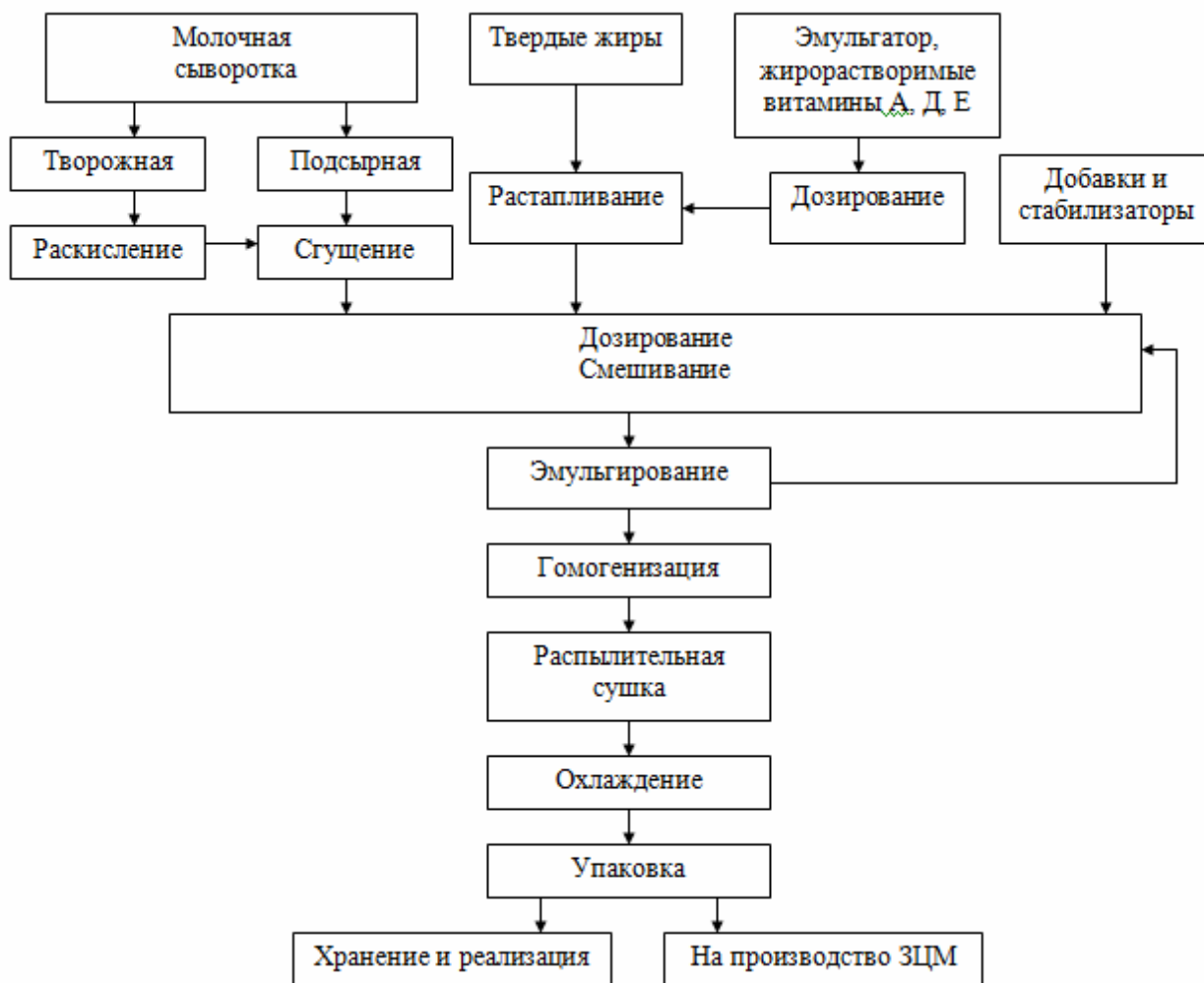


Рис. 10. Блок-схема технологического производства сухих высокожирных компонентов для ЗЦМ

В соответствии с разработанной рецептурой проведена опытная выработка сухого заменителя цельного молока методом сухого смешивания ингредиентов с использованием опытного образца СВК на лабораторном смесителе производительностью 100 кг/ч по готовому продукту. Готовый продукт отвечал требованиям разработанной технической документации.

Выводы:

1. Разработана импортозамещающая технология сухих высокожирных компонентов на основе растительного жира и молочной сыворотки для производства заменителей цельного молока методом смешивания сухих ингредиентов.
2. Предложена гипотеза строения оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях.
3. Разработана методика косвенной оценки поверхностной активности на границе раздела фаз, идентифицированная как площадь смачивания одного вещества по поверхности другого. Выбран наиболее активный отечественный эмульгатор для системы «растительный жир-молочная сыворотка» из разряда моноглицеридов дистиллированных со степенью дифильности, близкой к 1. Его поверхностная активность составила $6,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, что в 1,3-2,5 раза выше активности других эмульгаторов. Данный эмульгатор рекомендован для промышленного применения при производстве сухих жировых продуктов.
4. Разработан способ капсулирования жирового шарика с помощью дополнительного слоя, состоящего из полисахарида, способного образовывать эластичную негигроскопичную пленку, усиливающую защитный эффект липидного ядра. Его поверхностная активность по отношению к моноглицеридам дистиллированным составила $9,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, что значительно выше активности сывороточных и соевых белков, а также лактозы.
5. На основе развития предложенной гипотезы разработана многослойная физическая модель последовательности формирования структуры оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях: первым слоем, непосредственно прилегающим к поверхности жировой частицы, является мономолекулярный слой дистиллированных моноглицеридов; вторым – защитный капсулирующий слой полисахарида, третьим – слой белковых веществ, на котором адсорбируются последующие элементы углеводных и минеральных веществ молочной сыворотки.
6. Определены оптимальные режимы гомогенизации эмульсий перед сушкой: давление - 9 ± 1 МПа на первой ступени и $3 \pm 0,5$ МПа на второй ступени, массовая доля сухих веществ молочно-жировой эмульсии - $42 \pm 1\%$, температура – $62 \pm 3^\circ\text{C}$.
7. Рассчитаны удельные массы оболочечных веществ, формирующих структуру оболочек жировых шариков в эмульсиях, для которых на 100 г жира (при среднем диаметре жировых шариков 1,2 мкм) требуется 1,5 г эмульгатора, 2,6 г полисахарида и 7,9 г сывороточных белков.

8. Экспериментально определены рациональные режимы распылительной сушки и охлаждения сухих высокожирных компонентов. Температура сушильного агента на входе $t_{\text{вх}}=170\pm 5^\circ\text{C}$, на выходе – $t_{\text{вых}}=75\pm 2^\circ\text{C}$; температура охлаждения – на $10-15^\circ\text{C}$ ниже температуры затвердевания жира.
9. Разработаны рецептуры, аппаратурно-технологическая схема и техническая документация (ТУ «Продукты углеводно-жировые сухие») на промышленное производство сухих высокожирных компонентов с содержанием растительных жиров 50% и 55%.

Публикации в журналах, рекомендуемых ВАК:

1. Филатов Ю.И. Жировой компонент для производства ЗЦМ сухим смешиванием / Филатов Ю.И., Пухова Н.А., Кузнецов П.В., Смокотин Е.В., Габриелова В.Т. // Молочная промышленность №12, 2009, с. 42-43.
2. Петров А.Н. Свободный жир в продуктах на молочной основе: новое в методике определения / Петров А.Н., Борисова А.А., Смирнова С.А., Пухова Н.А., Червцов В.В., Панкина Н.А. // Молочная промышленность №4, 2011, с. 40-41.

Публикации в сборниках научных трудов, материалов конференций, семинаров:

3. Пухова Н.А. Структура адсорбционных слоев защитной оболочки жировых глобул в искусственных эмульсиях // Пухова Н.А., Смокотин Е.В., Филатов Ю.И. // Материалы 4-ой конференции молодых ученых и специалистов «Научно-инновационные технологии как основа продовольственной Российской Федерации», г. Москва, 2010, с. 170-171.
4. Филатов Ю.И. Структура адсорбционных слоев защитной оболочки жировых шариков в искусственных эмульсиях / Филатов Ю.И., Пухова Н.А., Кузнецов П.В., Смокотин Е.В. // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Липатовские чтения». М: РЭА им. Г.В. Плеханова, 2010, с. .
5. Филатов Ю.И. Развитие идеи нанотехнологий при формировании защитных оболочек жировых шариков в искусственных эмульсиях / Филатов Ю.И., Пухова Н.А. // Научное обеспечение молочной промышленности (ВНИМИ). Сборник научных трудов. М.: ГНУ ВНИМИ, 2010, с. 190-196.
6. Филатов Ю.И. Исследование поверхностного взаимодействия жиров и белково-углеводных веществ при формировании адсорбционных защитных оболочек в искусственных концентрированных системах / Филатов Ю.И., Пухова Н.А. // Материалы всероссийской научно-

практической конференции «Актуальные проблемы в области создания инновационных технологий сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов», г. Углич, 2011, с. 261-262.

7. Филатов Ю.И. Исследование поверхностного взаимодействия жиров и белково-углеводных веществ при формировании адсорбционных защитных оболочек в искусственных концентрированных системах /Филатов Ю.И., Пухова Н.А. //Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии – основа модернизации отраслей производства и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Волгоград, 2011, с. 254-257.
8. Пухова Н.А. Теоретические и экспериментальные исследования при разработке сухих высокожирных концентратов на основе молочной сыворотки и растительных жиров / Пухова Н.А. // Материалы международного научно-практического семинара «Феномен молочной сыворотки: синтез науки, практики и инноваций», г. Ставрополь, 2011, с. 111-113.
9. Пухова Н.А. Теоретические и экспериментальные исследования при разработке сухих высокожирных концентратов на основе молочной сыворотки и растительных жиров / Пухова Н.А. // Материалы 5-ой конференции молодых ученых и специалистов «Современные методы направленного изменения физико-химических и технологических свойств сельскохозяйственного сырья для производства продуктов здорового питания», г. Москва, 2011, с. 225-227.

Авторские заявки на патент:

1. Заявка на патент №2010150689 от 13.12.2010 г. «Способ определения свободного жира в жидких продуктах на молочной основе» (8 с.). А.Н. Петров, А.А. Борисова, С.А. Смирнова, Н.А. Панкина, Н.А. Пухова, В.В. Червецов, Е.А. Фетисов.
2. Заявка на патент №2010150690 от 13.12.2010 г. «Способ определения свободного жира в молокосодержащих продуктах с эмульгированным животным или растительным жиром» (8 с.). А.Н. Петров, Д.Н. Коваленко, А.А. Борисова, С.А. Смирнова, Н.А. Панкина, Н.А. Пухова, В.В. Червецов, Е.А. Фетисов.
3. Подана заявка на патент «Способ капсулирования жировой фазы в сухих жиросодержащих продуктах». Ю.И. Филатов, Н.А. Пухова.