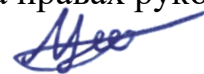


На правах рукописи



Цыганов Максим Степанович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМИРОВАНИЕ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ОБЕЗЖИРЕННЫХ
КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный руководитель: кандидат биологических наук
Никитина Елена Владимировна (Россия),
доцент кафедры технологии мясных и молочных
продуктов ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Решетник Екатерина Ивановна (Россия),
заведующий кафедрой технологии переработки
сельскохозяйственной продукции
ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный
аграрный университет»

доктор технических наук, доцент
Милентьева Ирина Сергеевна (Россия),
заведующий кафедрой бионанотехнологии
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский
университет)»

Защита диссертации состоится 5 апреля 2024 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.425.03 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/ Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Автореферат размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки России: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»: <http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

Л. А. Донскова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В России предполагается активизация партнерства к 2030 г. между государством, научным сообществом и предпринимательством в целях разработки и производства пищевой продукции для здорового питания. В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20, основополагающими целями названы формирование доступности качественной пищевой продукции и создание экономически доступных рационов здорового питания для населения. Согласно Стратегии повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р, приоритетными задачами являются: развитие научных исследований в области обеспечения качества и безопасности пищевой продукции; разработка инновационных технологий производства и создание условий для производства новых видов специализированных, функциональных и обогащенных, органических пищевых продуктов с повышенным качеством; создание механизмов стимулирования производителей к выпуску пищевой продукции, отвечающей критериям качества и принципам здорового питания.

Согласно современным научным данным, потребление молочных продуктов является частью здорового питания. Становится все более очевидным, что обезжиренные молочные продукты набирают популярность среди населения благодаря пользе для здоровья. При этом молочные продукты с нулевым содержанием жира имеют дефекты текстуры и вкуса из-за удаления жира, что снижает их приемлемость для потребителей. Для преодоления этих недостатков необходимо усовершенствовать существующую технологию, чтобы сохранить изначальную функциональную ценность молочной продукции, улучшить органолептические, в первую очередь текстурные, свойства обезжиренных кисломолочных напитков (ОКМН), повысить потребительскую привлекательность продукции.

В связи с вышеизложенным разработка поколения обезжиренных кисломолочных продуктов по усовершенствованной технологии, обладающей целевой возможностью контроля текстуры, с использованием гидроколлоидов – имитаторов жира, в частности с ферментно модифицированными крахмалами, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Большой научно-практический и теоретический вклад в развитие и совершенствование технологии переработки натурального молочного сырья при его использовании в производстве различных видов кисломолочных продуктов внесли отечественные ученые З. С. Зобкова, Н. Н. Липатов, В. Д. Харитонов, Е. Ю. Агаркова, И. С. Милентьева, А. И. Гнездилова, Л. А. Остроумов, К. К. Полянский, В. Е. Жидков, С. П. Бабенышев, С. А. Рябцева, Г. Б. Гаврилов, Е. И. Мельникова, А. Д. Лодыгин и др. Теоретические и практические основы создания молоч-

ных продуктов функционального назначения заложены в трудах В. И. Ганиной, Г. М. Свириденко, Н. А. Тихомировой, И. С. Хамагаевой, А. Г. Храмова, С. А. Шевелевой, Н. Б. Гавриловой, Л. В. Голубевой, Л. А. Забодаловой, В. Ф. Семенихиной и др. О взаимодействии молочной матрицы и крахмалов различной природы сообщается в трудах зарубежных ученых J. Y. Zuo, O. O. Awolu, S.-S. Wong, M.-C. Gentès, P. N. Agyemang, H. E. Oh, R. P. W. Williams и др.

Основные исследования выполнены на кафедре технологии мясных и молочных продуктов ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Цели и задачи работы. *Целью диссертационной работы* являлась разработка технологии обезжиренных кисломолочных напитков с улучшенными органолептическими характеристиками путем применения ферментно модифицированного крахмала как имитатора жира.

Для достижения поставленной цели исследований были поставлены следующие *задачи*:

1) изучить потребительские предпочтения в отношении органолептических показателей и текстуры обезжиренных КМН;

2) провести оценку качества обезжиренных КМН, реализуемых в торговых сетях в г. Казани Республики Татарстан;

3) исследовать влияние бактериальных ферментных препаратов (Амилосубтилин[®] и Альфалад БН[®]) на свойства тапиокового крахмала при модификации при варьировании концентрации вносимого фермента, оценить физико-химические свойства полученных крахмалов;

4) дать оценку показателей качества ОКМН на основе симбиотической закваски с применением ферментно модифицированных крахмалов в качестве имитатора жира, определить оптимальные параметры обработки путем математического моделирования и постановки двухфакторного эксперимента;

5) усовершенствовать технологию получения ОКМН на основе симбиотической закваски, оценить качество полученных ОКМН по органолептическим, химическим, структурным свойствам;

6) провести доклинические исследования кисломолочного продукта ЛактоСилк на крысах линии *Wistar*, определить комплексное воздействие на липидный обмен;

7) рассчитать экономическую эффективность для рекомендации технологии производителям.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 11, 15, 29 паспорта специальности ВАК при Минобрнауки России 4.3.3. Пищевые системы.

1. Получены новые данные о различии в воздействии ферментных препаратов: Амилосубтилин[®] инициирует образование геля с разрушением гранул; Альфалад БН[®] сохраняет форму и контур гранул с образованием волокнистых структур, что позволило получить крахмалы с более высокой влагосвязывающей способностью и индексом растворимости (п. 15 паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Предложено новое технологическое решение по производству обезжиренного кисломолочного напитка, включающее стадию ферментной модификации крахмала непосредственно в молоке (п. 29 паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Впервые научно обосновано применение модифицированного тапиокового крахмала в качестве ингредиента, формирующего текстуру обезжиренных кисломолочных напитков и органолептически по консистенции и длительности послевкуся имитирующего жир (п. 11 паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Получены новые данные о воздействии ферментно модифицированного тапиокового крахмала на синтез экзополисахаридов молочнокислых бактерий при производстве обезжиренных кисломолочных напитков (п. 15 паспорта научной специальности 4.3.3).

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость* работы заключается в расширении научных знаний в области получения и применения бактериальных ферментных препаратов с ведущей амилазной активностью для модификации крахмалов. Получены сведения о неспецифическом влиянии кисломолочного напитка «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным крахмалом на липидный обмен крыс.

Практическая значимость заключается в определении оптимального режима ферментной модификации тапиокового крахмала в условиях усовершенствованной технологии изготовления обезжиренных кисломолочных напитков.

В условиях пищевого перерабатывающего предприятия ООО «Комос Групп» (Казанский молочный комбинат, г. Казань) выпущены опытные партии кисломолочной продукции с ферментно модифицированными крахмалами.

Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс на кафедре технологии мясных и молочных продуктов ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Методология и методы исследования. Методологической основой исследований явились труды российских и зарубежных ученых в области переработки молочного сырья и его применения в технологии производства кисломолочных пищевых продуктов для здорового питания, в том числе с использованием гидроколлоидов различной природы. При решении поставленных задач применяли общепринятые стандартные и специальные методы исследований: органолептические, физико-химические, микробиологические, и статистические. Исследования проводились в 3–5-кратной повторности.

Положения, выносимые на защиту:

– обоснование необходимости разработки ОКМН с заданными потребительскими свойствами;

– физико-химические свойства ферментно модифицированных тапиоковых крахмалов, полученных при использовании двух бактериальных ферментных препаратов с варьированием амилазной активности;

- органолептические, химические, структурные свойства ОКМНсСЗ с ферментно модифицированными тапиоковыми крахмалами;
- математическая модель и ее практическая реализация для определения оптимальной модификации тапиокового крахмала при использовании в усовершенствованной технологии производства ОКМНсСЗ «ЛактоСилк»;
- результаты оценки показателей качества ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным тапиоковым крахмалом и экономическая эффективность усовершенствованной технологии его производства;
- результаты доклинических исследований воздействия ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с ферментно модифицированным крахмалом на липидный обмен крыс (снижение показателей триглицеридов, ЛПНП, холестерина, соотношения холестерина/ЛПВП, перекисного окисления липидов печени).

Достоверность результатов исследования подтверждается проведением экспериментов в многократной повторности с применением стандартных и специальных современных методов исследований, статистической обработкой результатов эксперимента с использованием пакета компьютерных программ Microsoft Excel, согласованностью результатов с известными представлениями о составе, структуре, свойствах кисломолочных продуктов, а также актами внедрения, опубликованием основных положений диссертации в рецензируемых печатных изданиях.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы представлены и обсуждены на международных, всероссийских научно-практических конференциях, прошедших в Казани (2015, 2016, 2019, 2021, 2023), Курске (2018), Набережных Челнах (2018), Вологде-Молочном (2020), Саратове (2021).

По материалам диссертационной работы представлены проекты, попавшие в финал 16-й, 17-й и 19-й Всероссийской молодежной научно-технической конференции «ИДЕЛЬ» в области естественных наук (Казань, 2019, 2020 и 2022 гг.); присуждена победа во II Республиканском конкурсе «Инженер года» (Казань, 2021).

Часть исследований в рамках диссертации поддержаны грантом РФФИ, номер проекта 20-016-00025 (2020–2022 гг.).

Личное участие автора. Представленная работа является обобщением результатов научных исследований, проведенных в период с 2015 по 2023 г. Личное участие автора заключается в теоретическом обосновании актуальности исследований, формулировании цели, постановке задач, планировании и выполнении экспериментов, обобщении их результатов, обработке полученных данных, формулировании выводов, подготовке материалов к публикации, производственной апробации.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России; 3 статьи в журналах, индексируемых в базе данных Scopus.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, список литературы, содержащий 277 наименований, в том числе 228 иностранных источников, и четыре приложения. Работа изложена на 168 страницах, проиллюстрирована 31 таблицей и 41 рисунком.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, определены научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** раскрыто состояние вопроса, проведен анализ литературы. Обоснована необходимость производства ОКМП с применением имитаторов жира. Обоснован выбор закваски, крахмала и ферментной модификации.

Во **второй главе** представлена методология и схема работы (рисунок 1). Экспериментальные исследования ОКМП, реализуемых в магазинах г. Казани, проводили с 2016 по 2022 г. на базе кафедры технологии мясных и молочных продуктов ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с поставленными задачами. Использовали следующее сырье: нативный тапиоковый крахмал по ГОСТ 32902-2014; ферментные препараты Амилосубтилилин[®] и Альфалад БН[®]; молоко коровье обезжиренное (жир 0,05 %, белок 3,18 %, лактоза 4,7 %) и нормализованное (жир 3,2 %, белок 3,1 %, лактоза 4,7 %); лиофильно высушенная закваска «Симбилакт» (*S. thermophilus*, *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, *L. acidophilus*, *B. lactis*, *C. lactis subsp. cremoris*, *L. lactis subsp. lactis*, *L. lactis subsp. lactis var. diacetylacti*); готовая продукция: образцы КМП, приобретенные в торговых сетях г. Казани; живые системы: крысы-самцы линии *Wistar* возрастом 12–14 недель.

Модификацию тапиокового крахмала проводили в воде (30 г/100 мл), рН = 7, 40 °С в течение 1 ч с применением ферментных препаратов (активность 0,415; 0,830; 2,070; 4,150; 8,300 U/г крахмала). Гидролиз останавливали добавлением концентрированной серной кислоты (рН = 2), образцы фильтровали и сушили при 40 °С.

ОКМНсСЗ получали добавлением полученных крахмалов в количестве 1 % в молочную смесь до этапа пастеризации. Все технологические операции проводились по технологии изготовления КМП. По усовершенствованной технологии с внесением дополнительной стадии введения тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, произведен ОКМНсСЗ, названный «ЛактоСилк».

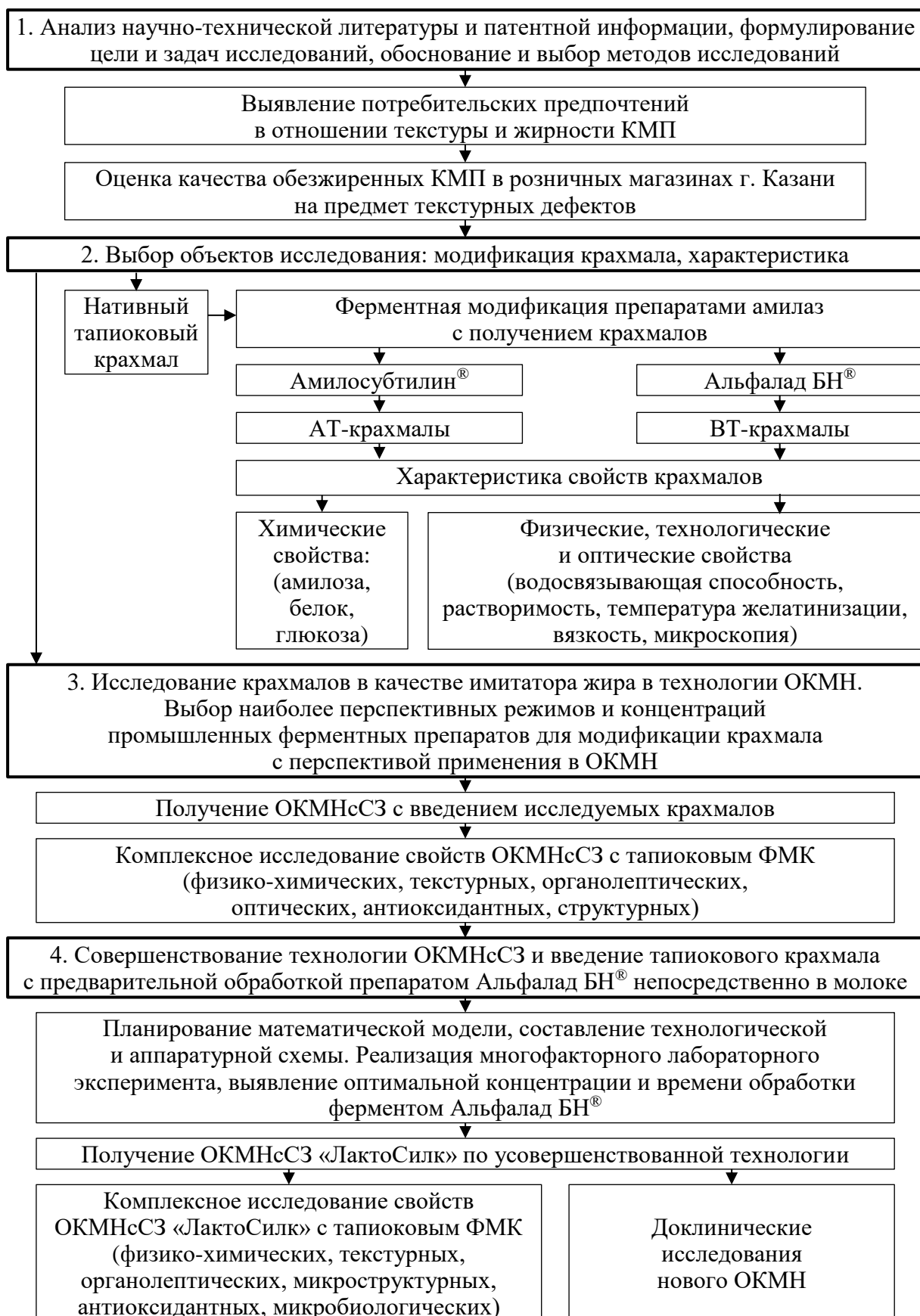


Рисунок 1 – Общая схема исследований

При выполнении экспериментальной части работы использовали общепринятые методы физико-химических, органолептических, микробиологических исследований. Анализ профиля текстуры выполнен на структуромере СТ-2 (Россия), программа: два цикла погружения и поднятия цилиндра (диаметр 36 мм, $h = 35$ мм) с тензодатчиком, $h_{\text{погружения}} = 15$ мм, $v = 0,5$ мм/с. СЭМ проведена на микроскопе Merlin (Carl Zeiss; Германия), лазерно-сканирующая микроскопия – на микроскопе Carl Zeiss LSM 780 (Carl Zeiss, Jena, Германия); анализ проводили в Аналитическом центре микроскопии ФГАОУ ВО «КФУ».

Тестирование ОКМНсСЗ *in vivo* одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «КФУ» (протокол № 38 от 04.10.2022). Анализ крови крыс проводили на гематологическом анализаторе Abacus Junior 5 VET (Diatron Messtechnik GmbH, Австрия); биохимические параметры определяли в ChemWell2902 (Awareness Technology, США) с использованием наборов или реагентов Spinreact S. A. (Испания). Для математической обработки использовали методы статистического и регрессионного анализа с применением программ GraphPad Prism, Microsoft Excel 2013, Statistica 12.0.

В третьей главе представлен анализ потребительских предпочтений. Только 20 % респондентов предпочитают КМП с содержанием жира 0,1–1,5 %, однако жирность как фактор покупки (рисунок 2а) называли только 10 % опрошенных. При этом вкус является основным фактором покупки; вкусом ОКМП не удовлетворены 35,6 % опрошенных, 36 % – консистенцией и цветом, 17 % – внешним видом. Большинство (66,1 %) респондентов желали бы приобрести обезжиренный КМП (рисунок 2б), если его органолептические свойства будут схожи с жирным продуктом.

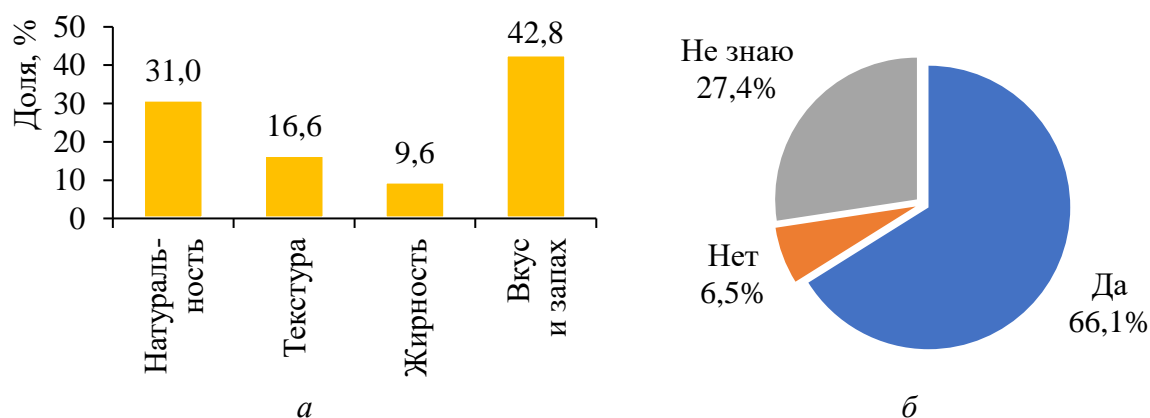


Рисунок 2 – Факторы покупки кисломолочного продукта (а) и желание респондентов приобрести обезжиренный кисломолочный продукт (б)

Решить эту задачу можно добавлением имитатора жира в ОКМП. Поскольку в матрице такого продукта остаются лишь белковые взаимодействия, это приводит к повышению синерезиса, ухудшению вязкости, дефектам органолептики. Проведена оценка качества ОКМП (г. Казань).

Оценка качества обезжиренных КМП показала, что четыре образца можно характеризовать как «хорошие», четыре – как «удовлетворительные», один – «отличный» (ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011) (рисунок 3). Были замечания: кислый вкус, отделение сыворотки. Кислотность продукции соответствовала ГОСТ 31454-2012, ГОСТ 33491-2015, ГОСТ 31981-2013.

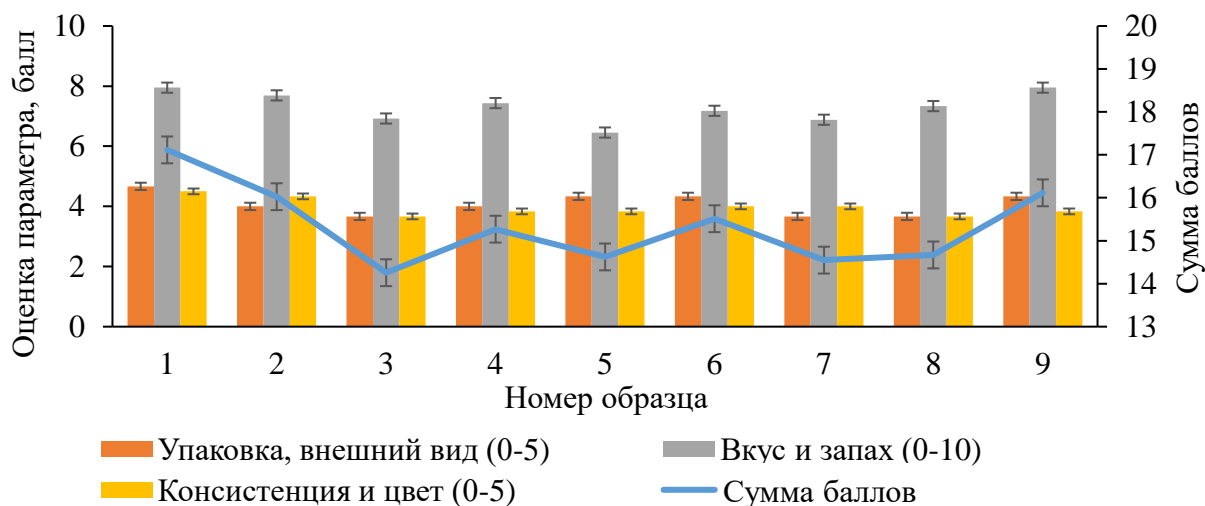


Рисунок 3 – Органолептические показатели покупной обезжиренной кисломолочной продукции

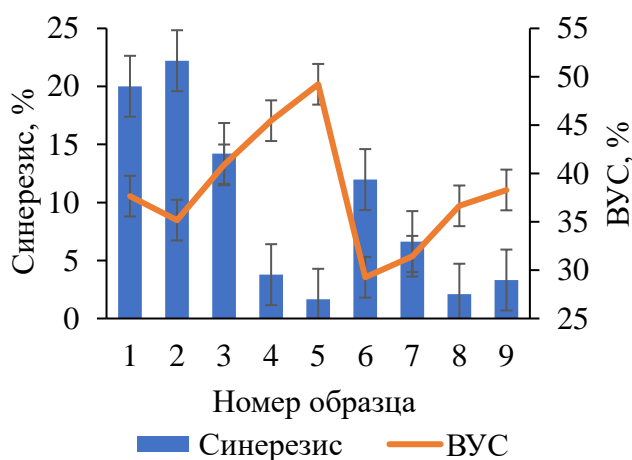


Рисунок 4 – Синерезис и водоудерживающая способность обезжиренных КМП

Выявлен отстой сыворотки у 5/9 образцов (более 5 %), ВУС 29,26–49,2 % (рисунок 4), вязкость 1 500–2 300 мПа·с⁻¹.

Привлекательность ОКМП может быть повышена за счет улучшения текстуры и имитации органолептических ощущений жирного продукта, что достижимо за счет применения имитатора жира, например крахмала.

В четвертой главе представлены исследования ФМК в качестве имитатора жира в технологии обезжиренных КМП. Проведена модификация нативных тапиоковых крахмалов с применением российских ферментов Амило-

субтилин® и Альфапад БН®, они доступны и могут применяться в пищевой промышленности; оценены свойства полученных крахмалов.

Обработка крахмалов ферментными препаратами приводила к изменению параметров (таблица 1): увеличились ВСС в 1,2–2,1 раза и ИРВ в 2–10 раз у ФМК в сравнении с нативным крахмалом, коэффициент вязкости снизился в 1,8–5,8 раза.

Таблица 1 – Химические и функциональные свойства тапиокового нативного и ферментно модифицированных крахмалов

Образец крахмала	Амилоза, %	Амилопектин, %	Коэффициент вязкости	Температура желатинизации, °С	ВСС, г Н ₂ О /г крахмала	ИРВ, г жидкости /100 г крахмала
Нативный	5,20 ± 0,42	94,69 ± 0,28 ^a	8,43 ± 1,41	52,9 ± 0,8	2,40 ± 0,28	4,72 ± 0,31
АТ-0,05	20,22 ± 2,55	79,37 ± 1,98	2,74 ± 1,13	55,1 ± 1,4	3,57 ± 0,24	8,18 ± 0,25
АТ-0,1	22,69 ± 2,84	76,90 ± 2,28	3,17 ± 0,71	52,1 ± 1,9	3,21 ± 0,16	7,84 ± 0,28
АТ-0,25	24,99 ± 0,72	74,45 ± 0,37	2,03 ± 0,66	52,2 ± 0,7	2,88 ± 0,11	5,93 ± 0,24
АТ-0,5	23,54 ± 2,18	76,05 ± 1,61	4,52 ± 1,27	51,8 ± 0,8	4,36 ± 0,08	7,81 ± 0,30
АТ-1	22,26 ± 2,74	77,33 ± 2,18	2,85 ± 0,99	50,9 ± 1,3	3,42 ± 0,06	7,65 ± 0,21
ВТ-0,05	22,69 ± 0,71	76,90 ± 0,14	3,08 ± 0,85	55,0 ± 1,4	3,60 ± 0,14	7,06 ± 0,23
ВТ-0,1	25,33 ± 0,47	74,66 ± 0,47	1,44 ± 0,74	54,8 ± 0,6	3,11 ± 0,18	7,08 ± 0,25
ВТ-0,25	23,71 ± 0,71	75,88 ± 1,27	2,40 ± 0,78	55,8 ± 0,8	2,92 ± 0,25	23,72 ± 0,29
ВТ-0,5	20,47 ± 0,28	79,42 ± 0,42	3,98 ± 0,99	57,5 ± 1,0	4,59 ± 0,14	36,70 ± 0,21
ВТ-1	16,47 ± 0,66	83,42 ± 0,52	4,33 ± 1,17	59,8 ± 1,2	4,88 ± 0,10	49,34 ± 0,20

Активность и специфичность действия используемых ферментов влияют на внешний вид гранул (рисунок 5): обработка Амилосубтилином[®] привела к увеличению доли мелких гранул, обработка Альфаладом БН[®] – к преобладанию осколков гранул с неправильной формой.

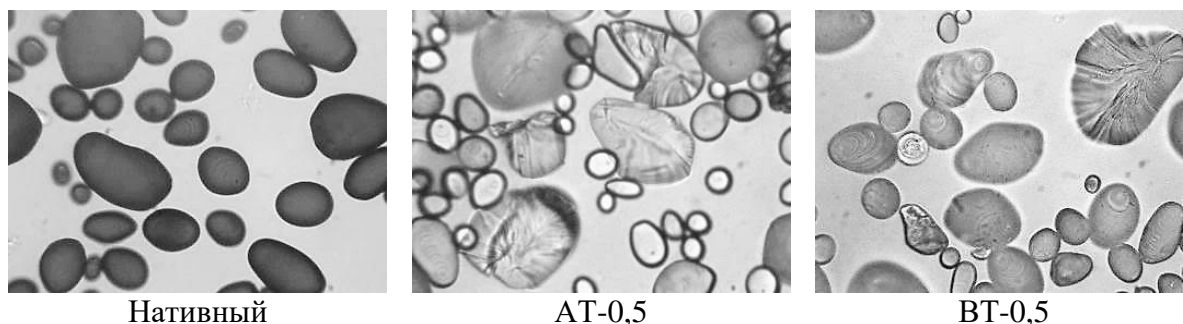


Рисунок 5 – Световая микроскопия гранул тапиоковых крахмалов (обработанных Амилосубтилином[®] – АТ и Альфаладом БН[®] – ВТ)

Исследовано влияние ФМК на качество ОКМНсСЗ. Добавление ФМК в продукт приводило к увеличению титруемой кислотности в 1-е сутки (таблица 2). Нативный крахмал не влиял на кислотность. На 28-е сутки хранения кислотность контроля и образца с нативным крахмалом нарастала. Кислотность АТ-образцов уменьшилась к концу хранения, для ВТ-образцов характерно как увеличение (ВТ-0,25; ВТ-0,5), так и снижение кислотности (ВТ-0,1; ВТ-1).

Крахмал влиял на фракционный состав белков (см. таблицу 2) в сторону увеличения сывороточных из-за снижения активности воды, проявления поверхностно активных свойств крахмалов.

Таблица 2 – Физико-химический состав ОКМНсСЗ с добавлением различных крахмалов

Образец	Титруемая кислотность, °Т		Белки, %		Белки в сыворотке, %		Углеводы, %	
	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
Контроль	100,9 ± 0,1	105,9 ± 0,6	3,81 ± 0,28	3,78 ± 0,31	2,77 ± 0,04	2,81 ± 0,03	4,67 ± 0,03	4,64 ± 0,06
Нативный	100,7 ± 0,2	102,3 ± 0,4	3,87 ± 0,25	3,67 ± 0,28	2,88 ± 0,08	2,71 ± 0,06	5,64 ± 0,06	5,45 ± 0,07
АТ-0,05	111,9 ± 0,1	108,0 ± 0,7	4,05 ± 0,23	4,12 ± 0,30	3,12 ± 0,03	3,05 ± 0,07	5,12 ± 0,06	5,12 ± 0,03
АТ-0,1	113,8 ± 0,4	101,8 ± 0,4	4,10 ± 0,28	4,13 ± 0,31	3,09 ± 0,06	2,95 ± 0,07	5,39 ± 0,03	5,08 ± 0,08
АТ-0,25	111,8 ± 0,4	104,0 ± 0,0	4,03 ± 0,25	4,01 ± 0,22	3,04 ± 0,06	2,93 ± 0,04	5,46 ± 0,04	5,02 ± 0,03
АТ-0,5	112,8 ± 0,4	107,9 ± 0,6	4,07 ± 0,30	4,15 ± 0,21	3,15 ± 0,07	2,91 ± 0,03	5,36 ± 0,08	5,08 ± 0,10
АТ-1	118,0 ± 1,4	108,0 ± 0,0	3,86 ± 0,23	3,94 ± 0,28	3,02 ± 0,03	2,77 ± 0,04	5,12 ± 0,07	5,04 ± 0,06
ВТ-0,05	100,9 ± 0,1	101,0 ± 0,7	3,96 ± 0,20	4,16 ± 0,23	3,12 ± 0,03	3,00 ± 0,04	5,16 ± 0,08	5,12 ± 0,06
ВТ-0,1	111,8 ± 0,4	102,8 ± 0,4	4,00 ± 0,31	4,14 ± 0,19	3,07 ± 0,05	2,97 ± 0,03	5,23 ± 0,04	5,08 ± 0,10
ВТ-0,25	101,0 ± 0,1	107,0 ± 0,7	4,05 ± 0,27	4,15 ± 0,22	3,17 ± 0,03	3,09 ± 0,03	5,17 ± 0,10	5,14 ± 0,06
ВТ-0,5	100,8 ± 0,3	105,0 ± 0,7	4,00 ± 0,21	4,10 ± 0,29	3,23 ± 0,04	3,18 ± 0,04	5,18 ± 0,07	5,09 ± 0,10
ВТ-1	116,8 ± 0,4	104,7 ± 0,2	3,93 ± 0,18	4,13 ± 0,26	3,17 ± 0,02	3,12 ± 0,03	5,20 ± 0,07	5,11 ± 0,08

Органолептические свойства контроля и ОКМНсСЗ с ФМК были хорошими (таблица 3), отмечена гладкая консистенция, выраженный кисло-молочный вкус. Образец с нативным крахмалом имел низкий балл за текстуру. Сумму баллов 16–18 получили образцы АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,5, ВТ-1, с насыщенным вкусом и длительным послевкусием.

Таблица 3 – Органолептическая оценка образцов ОКМНсСЗ (1-е сутки хранения)

Образец	Оценка, балл			Сумма баллов
	Внешний вид (0–5)	Вкус и запах (0–10)	Консистенция (0–5)	
Контроль	3,7 ± 0,6	4,9 ± 0,4	3,3 ± 0,3	11,9 ± 1,2
Нативный	1,7 ± 0,6	5,4 ± 0,8	1,5 ± 0,5	8,6 ± 0,4
А-0,05	4,0 ± 0,0	6,4 ± 0,4	3,5 ± 0,0	13,9 ± 0,4
А-0,1	4,7 ± 0,6	7,2 ± 1,2	4,0 ± 0,5	15,8 ± 1,2
А-0,25	3,7 ± 0,6	6,2 ± 0,0	3,2 ± 0,6	13,0 ± 1,2
А-0,5	4,3 ± 0,6	8,5 ± 0,8	3,7 ± 0,3	16,5 ± 1,6
А-1	4,3 ± 1,2	8,2 ± 0,4	3,8 ± 0,3	16,4 ± 1,9

ФМК положительно повлияли на структурные свойства (рисунок 6): синерезис ОКМНсСЗ в сравнении с контролем снизился на 4–17 %; ВУС и вязкость увеличились на 3–27 % и 500–1000 мПа/с соответственно. Достоинства нативного крахмала в продукт нивелировались его ретроградацией.

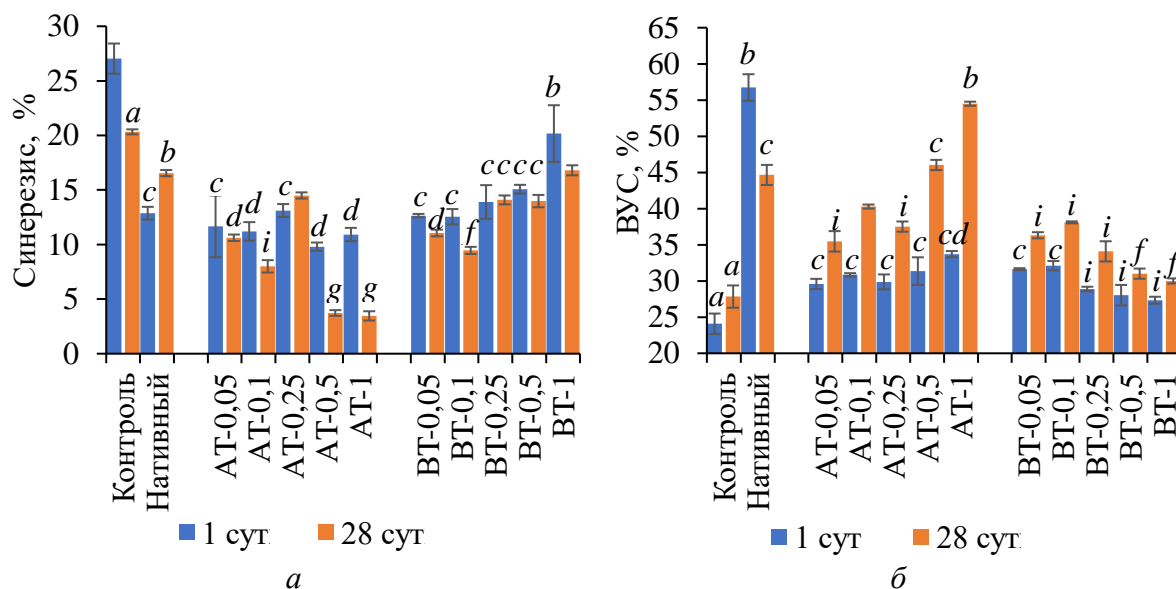


Рисунок 6 – Синерезис (а) и ВУС (б) образцов ОКМНсСЗ с крахмалами

Анализ главных компонент выявил, что ОКМНсСЗ с ВТ-крахмалами имели наилучшую сохранность и стабильность. ФМК в ОКМП улучшает технологические, органолептические, физико-химические, структурные свойства. На основании анализа свойств ОКМНсСЗ обосновано использование фермента Альфалад БН® для дальнейшей работы.

В пятой главе усовершенствована технология производства ОКМН, предложена технологическая схема (рисунок 7) с введением тапиокового крахмала, обработанного Альфаладом БН® в молоке. Для обоснования предложенной технологии и нахождения оптимального режима модификации крахмала осуществлено математическое моделирование.

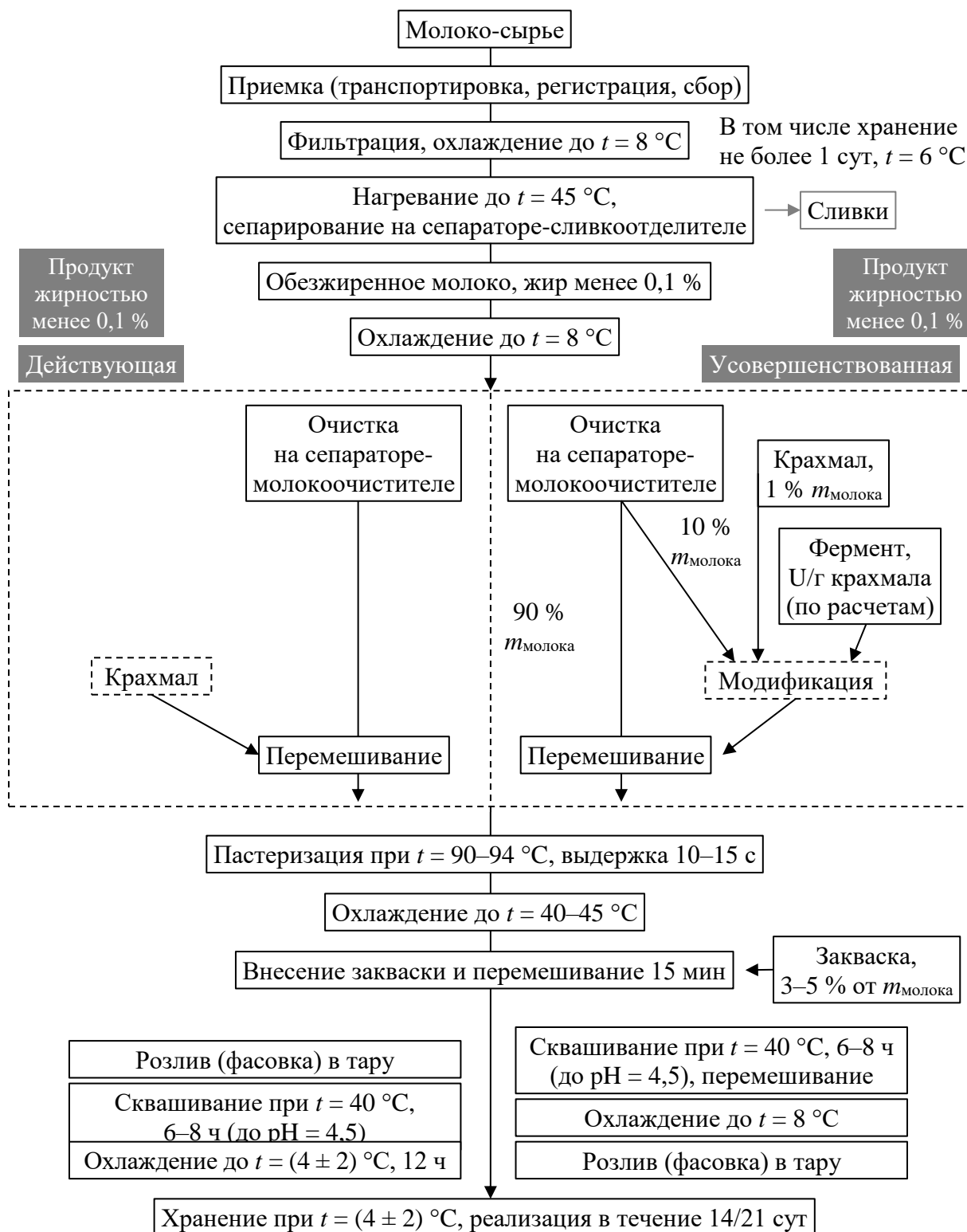


Рисунок 7 – Модель технологической схемы производства ОКМНсСЗ

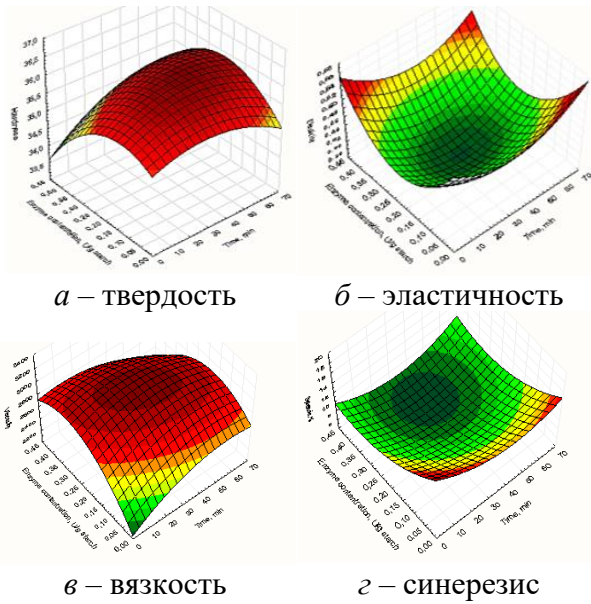


Рисунок 8 – Влияние концентрации и времени обработки на структурно-механические характеристики

Независимые параметры отклика – концентрация фермента и время обработки. По математической модели изготовлены образцы ОКМНсСЗ. Получены значения отклика системы по структурным параметрам (рисунок 8). Составлена матрица расчета коэффициентов двухфакторной модели и рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии.

Получены уравнения зависимостей: $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$. Установлен оптимальный режим модификации: время обработки – 30 мин, концентрация фермента – 0,22 У/г крахмала.

На основе результатов предложена аппаратная схема (рисунок 9). Согласно схеме получен ОКМНсСЗ «ЛактоСилк», проведен комплексный анализ свойств.

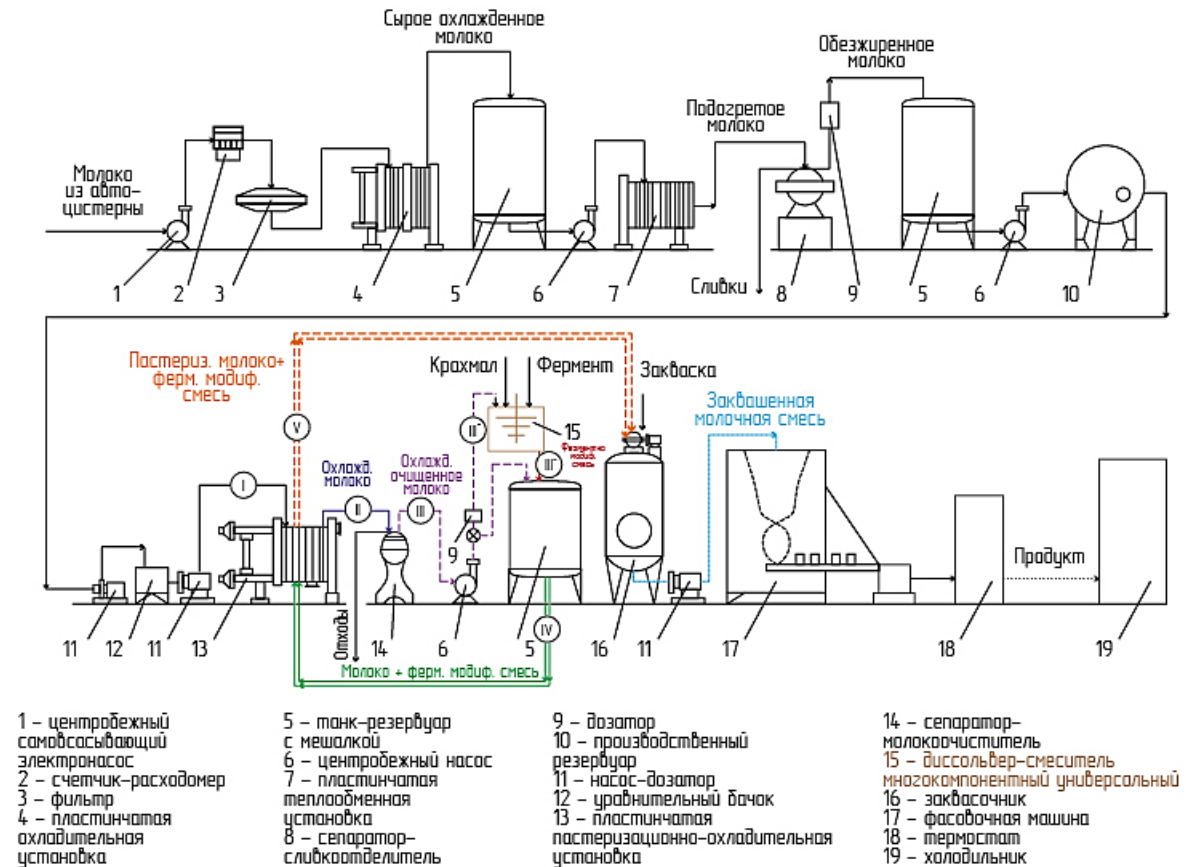


Рисунок 9 – Аппаратурная схема разрабатываемой технологии

Добавление ФМК в ОКМНсСЗ не влияло на титруемую кислотность; на 21-е сутки хранения кислотность была 117–118 °Т. Изменения в физико-химических параметрах ОКМНсСЗ были схожими с данными из главы 4. Количество ЭПС с крахмальным остатком в ЛактоСилк не изменялось при хранении и было наибольшим (рисунок 10), внесение ФМК способствует синтезу и накоплению ЭПС.

Через 21 сут хранения наибольшее количество МКБ было в ЛактоСилк (рисунок 11). Не выявлено патогенной и условно-патогенной микрофлоры в напитках.

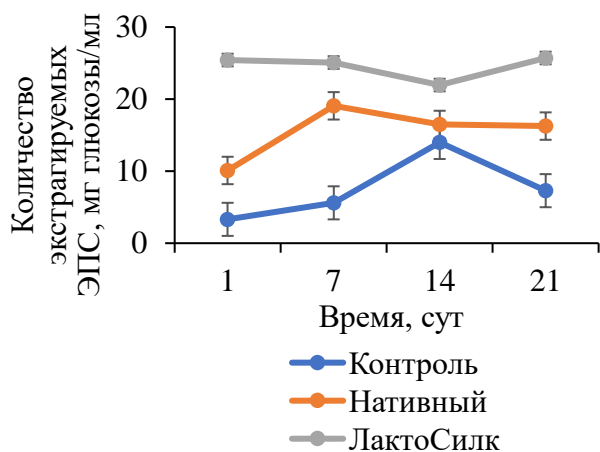


Рисунок 10 – Количество ЭПС в ОКМНсСЗ при хранении

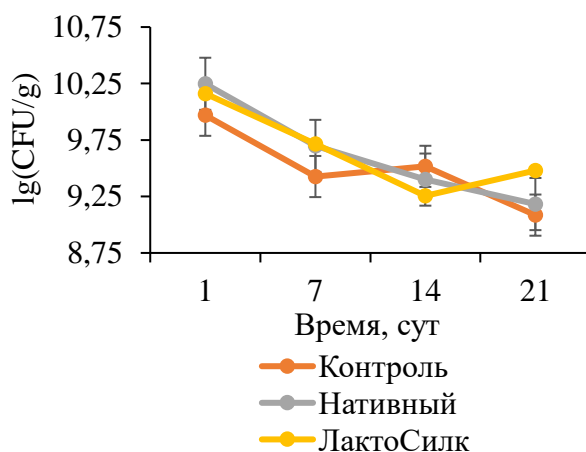


Рисунок 11 – Количество МКБ в ОКМНсСЗ при хранении

Сумма баллов ЛактоСилк 0,05 % была сопоставима с контролем 3,2 % (рисунок 12). У ЛактоСилк 0,05 % был насыщенный кисломолочный вкус и аромат; густая гладкая консистенция, без отделения сыворотки.

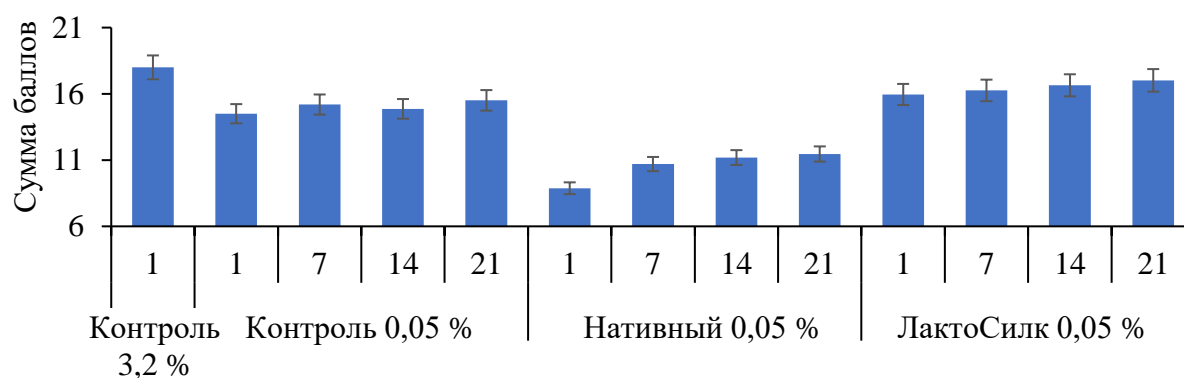


Рисунок 12 – Сумма баллов органолептической оценки ОКМНсСЗ при хранении

Синерезис в ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» при хранении был ниже, чем в контроле (рисунок 13). ВУС обратно коррелировала с синерезисом, вязкость повышалась.

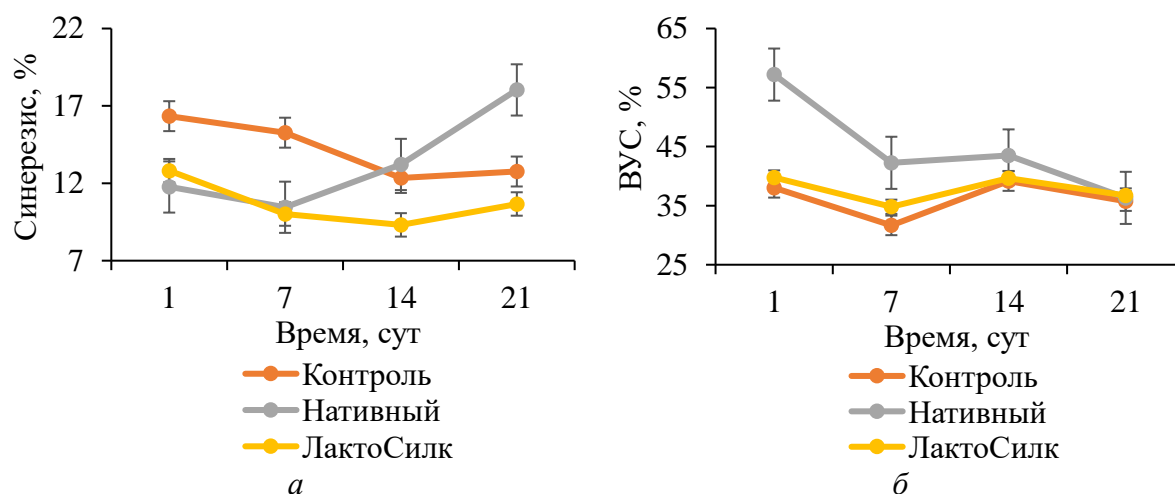


Рисунок 13 – Синерезис (а) и ВУС (б) образцов при хранении

Усовершенствованная технология с ФМК позволила получить ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с сопоставимым с контролем 3,2 % уровнем твердости, большей адгезией, эластичностью, упругостью, меньшей клейкостью, что подтверждается анализом профиля текстуры (таблица 4).

Таблица 4 – Структурно-механические свойства напитков (инструментальный анализ профиля текстуры на структуромере СТ-2)

Образец	Продолжительность хранения, сут	Твердость, г	Адгезия, г·с	Эластичность	Клейкость, г	Упругость, мм
Контроль 3,2 %	1	39,20 ± 1,20	37,00 ± 2,01	0,22 ± 0,02	20,00 ± 2,10	9,60 ± 0,60
Контроль 0,05 %	1	37,10 ± 0,42	33,12 ± 0,16	0,34 ± 0,05	10,75 ± 0,71	11,60 ± 0,57
	7	36,50 ± 0,71	32,73 ± 0,34	0,35 ± 0,05	10,36 ± 0,51	11,80 ± 0,28
	14	38,40 ± 0,57	44,22 ± 0,32	0,29 ± 0,05	10,25 ± 0,35	11,31 ± 0,44
	21	35,50 ± 0,85	30,61 ± 0,43	0,38 ± 0,03	10,64 ± 0,90	12,39 ± 0,55
Нативный 0,05 %	1	41,90 ± 0,28	52,23 ± 0,32	0,28 ± 0,04	11,31 ± 0,43	11,11 ± 0,16
	7	39,00 ± 0,78	37,76 ± 0,34	0,31 ± 0,03	10,51 ± 0,73	11,00 ± 0,71
	14	38,90 ± 0,28	46,39 ± 0,55	0,29 ± 0,03	9,44 ± 0,57	10,98 ± 0,42
	21	36,70 ± 0,14	38,23 ± 4,11	0,39 ± 0,05	10,22 ± 0,98	12,06 ± 0,62
ЛактоСилк 0,05 %	1	37,00 ± 0,57	35,60 ± 0,14	0,34 ± 0,04	10,10 ± 0,13	11,61 ± 0,71
	7	35,70 ± 0,99	40,49 ± 0,57	0,37 ± 0,08	9,65 ± 0,35	11,70 ± 0,42
	14	36,30 ± 0,42	45,45 ± 0,64	0,31 ± 0,02	8,87 ± 0,28	10,89 ± 0,14
	21	36,25 ± 0,49	40,56 ± 2,59	0,37 ± 0,06	9,87 ± 0,28	11,85 ± 0,49

Анализ главных компонент показал, что на текстуру ОКМНсСЗ влияло наличие крахмала, его тип.

Белковая сеть контроля и ЛактоСилк схожи, но поры последнего меньше, а белковая матрица компактнее (рисунок 14). Продукт с нативным крахмалом представлен в виде крупных комков.

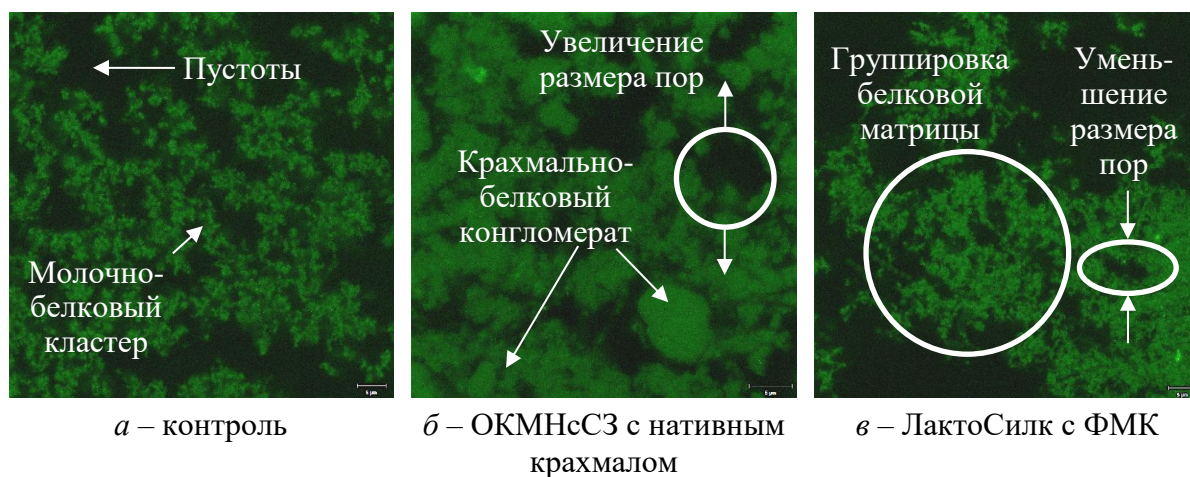


Рисунок 14 – КЛСМ-изображения ОКМНсСЗ

Микроструктура контроля была мелкозернистой, с четкими границами, видимыми белковыми мостиками, равномерно распределенными порами (рисунок 15).

Рисунок 15 – Микроструктура ОКМНсСЗ (7 сут) ($\times 20\,000$)

Добавление нативного крахмала в ОКМНсСЗ приводило к образованию рыхлых конгломератов. В матрицу ЛактоСилк ФМК погружен, нет слипшихся конгломератов, структура гладкая мелкозернистая.

Такое расположение ФМК в белковом матриксе ЛактоСилк привело к снижению синерезиса, повышению вязкости, сформировало лучшую текстуру, улучшило органолептику. Это определяет перспективность применения ФМК как имитатора жира в ОКМП.

Полезные свойства ЛактоСилк исследовали на самцах крыс *Wistar*. В эксперименте функциональные показатели крыс были в норме. Ежедневное дополнительное потребление крысами 2 г ОКМНсСЗ или ЛактоСилк не влияло на прирост массы тела, внутренние органы крыс не имели визуальных различий (таблица 5).

Таблица 5 – Биологические показатели крыс и массовые коэффициенты внутренних органов

Показатель	Контроль	ОКМНсСЗ	ЛактоСилк
Средняя масса животного в начале, г	260,00 ± 32,22	284,00 ± 26,07	250,00 ± 17,36
Средняя масса животного в конце, г	287,00 ± 28,81	292,00 ± 20,52	275,40 ± 20,51
Масса съеденного корма, г	3 292,3	3 261,8	3 345,3
Среднесуточный прирост, г	0,60 ± 0,17	0,45 ± 0,17	0,60 ± 0,13
Абсолютный прирост, г	25,00 ± 7,22	19,00 ± 7,05	25,00 ± 5,26
Относительный прирост (к контролю), %	100	76	100
Сердце, %	1,53 ± 0,11	1,70 ± 0,15	1,69 ± 0,04
Селезенка, %	1,07 ± 0,18	1,17 ± 0,09	1,19 ± 0,10
Почки (2 шт.), %	3,05 ± 0,26	3,23 ± 0,15	3,15 ± 0,17
Печень, %	13,88 ± 2,93	14,05 ± 0,90	14,61 ± 0,76

В группах с ОКМНсСЗ снижался уровень липидов, холестерина, триглицеридов в сравнении с контролем (рисунок 16), увеличивался индекс ЛПВП/ЛПНП.

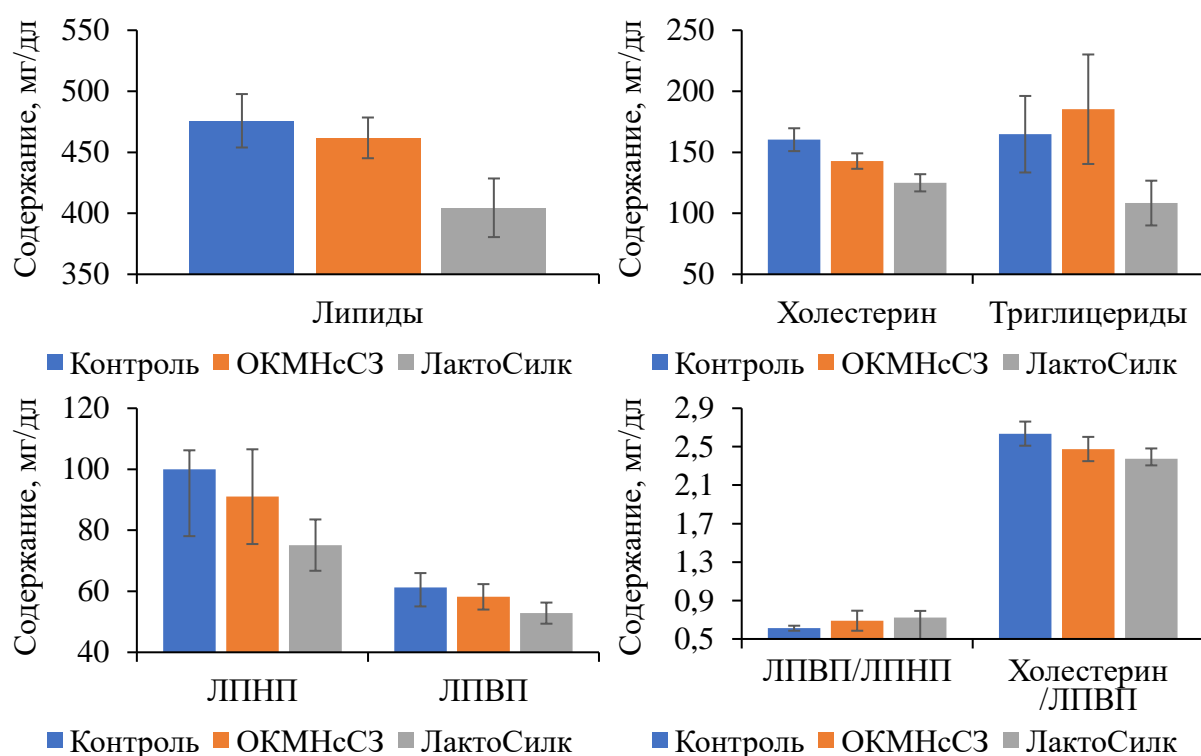


Рисунок 16 – Влияние ОКМНсСЗ и ЛактоСилк на липидный обмен крыс

Биохимическом и гематологическом анализ не выявил значимых отличий. Количество МДА в тканях печени снижалось ($P < 0,001$) в ряду: контроль → ОКМНсСЗ → ЛактоСилк, что свидетельствует о снижении уровня

окислительного стресса. Благодаря анализу главных компонент подтверждено наличие отличий в свойствах ОКМНсСЗ «ЛактоСилк».

Результаты позволяют рекомендовать употребление ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» с крахмалом, обработанным Альфалад БН[®] непосредственно в молоке, в качестве продукта, способствующего коррекции липидного обмена. Усовершенствованная технология удорожает производство на 2 %. Технология может быть адаптирована для широкого круга кисломолочных продуктов. Данное исследование может помочь производителям улучшить органолептические и структурно-механические свойства ОКМП.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Выявлено, что обезжиренные и маложирные кисломолочные продукты предпочитают 20 % респондентов, но только 10 % опираются на жирность как фактор покупки. Вкус является основным фактором покупки, именно вкусом обезжиренных КМП не удовлетворены 35,6 % опрошенных, 36 % – консистенцией и цветом. Установлено желание потребителей приобрести обезжиренный кисломолочный продукт (66,1 % опрошенных) при условии сохранения органолептических свойств, при этом 47 % респондентов приобрели бы продукт с загустителем.

2. Анализ качества обезжиренных КМП, представленных в торговых сетях г. Казани, показал их соответствие НТД (ГОСТ 31454-2012, ГОСТ 33491-2015, ГОСТ 31981-2013) по химическим показателям: титруемая кислотность 85–135 °Т, белок $\leq 2,8$ %; однако 45 % образцов по органолептическим показателям получили оценку «удовлетворительно», замечания дегустаторов касались отделения сыворотки (синерезис более 5 % у 55 % образцов), жидкой консистенции, короткого послевкусия, плоского ненасыщенного, водянистого вкуса.

3. Ферментная модификации крахмала препаратами Амилосубтили[®] (АТ) и Альфалад БН[®] (ВТ) при варьировании концентрации привела к увеличению влагосвязывающей способности в 1,2–2,1 раза и растворимости в 2–10 раз, к снижению коэффициента вязкости в 1,8–5,8 раза по сравнению с нативным. Различалась микроструктура АТ- и ВТ-крахмалов: обработка Амилосубтилином привела к увеличению доли гранул с разрыхленной поверхностью и мелких гранул, обработка Альфаладом БН – к преобладанию осколков гранул и частиц с неправильной формой.

4. Установлено, что применение в рецептуре ОКМН с симбиотической закваской тапиоковых крахмалов АТ и ВТ в качестве имитатора жира приводит к улучшению показателей качества. Образцы АТ-0,5, АТ-1, ВТ-0,5, ВТ-1 имели насыщенный вкус, длительное послевкусие, густую консистенцию. Применение крахмалов увеличивает концентрацию сухих веществ, плотность, приводит к перераспределению белковых фракций молочных

белков в сторону увеличения сывороточных. Внесение ФМК позволяет снизить синерезис ОКМНсСЗ на 4–17 %, увеличить вязкость на 500–1000 мПа/с по сравнению с контролем, причем данные эффекты более выражены у образцов с ВТ-крахмалами. По результатам комплексного анализа ОКМНсСЗ обосновано использование фермента Альфалад БН[®] для дальнейшей работы. Оптимальные условия обработки тапиокового крахмала Альфаладом БН[®] (время 30 мин, активность 0,22 У/г крахмала) позволяют получить оптимальные текстурные и структурные свойства ОКМНсСЗ, что установлено математическим моделированием и двухфакторным экспериментом.

5. В технологию производства кисломолочного напитка внесена дополнительная стадия добавления тапиокового крахмала, предварительно обработанного препаратом Альфалад БН[®] в молоке. По усовершенствованной технологии произведен продукт «ЛактоСилк», органолептическая оценка которого на 1,5 балла выше, чем у контроля. У «ЛактоСилк» выявлено увеличение доли белков в сыровотке, количества сухих, минеральных веществ, плотности, интенсифицируется синтез ЭПС на 18–22 мг глюкозы/мл, снижается синерезис на 5 %, повышается вязкость на 500 мПа/с. Улучшения органолептических, структурных свойств обусловлены изменением микроструктуры, внедрением ФМК в белковый матрикс.

6. В доклинических исследованиях выявлено положительное влияние ОКМНсСЗ «ЛактоСилк» на липидный обмен крыс: в группе, получавшей ЛактоСилк, по сравнению с контролем количество липидов было ниже на 67 мг/дл; холестерина – на 33 мг/дл; возрос индекс ЛПВП/ЛПНП на 0,1 ед., в тканях печени снижались перекисное число на 0,165 Мэкв/кг и малоновый диальдегид на 1 мгМА/кг.

7. Выполнен расчет экономической эффективности усовершенствованной технологии. Установлено, что себестоимость разработанного напитка составляет 30 991 р. за тонну, что на 8 % ниже, чем для напитка с коммерчески модифицированным крахмалом.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ

1. Никитина, Е. В. Физико-химические свойства модифицированных амилосубтилином тапиоковых крахмалов / Е. В. Никитина, М. С. Цыганов // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 156–158.

2. Никитина, Е. В. Свойства тапиоковых крахмалов, модифицированных амилазой *Bacillus licheniformis* / Е. В. Никитина, М. С. Цыганов, А. И. Вафина // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 13. – С. 133–136.

3. Цыганов, М. С. Гистологические свойства тапиоковых крахмалов, модифицированных амилосубтилином и амилазой *Bacillus licheniformis* / М. С. Цы-

ганов, Е. В. Никитина // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 16. – С. 145–148.

4. **Цыганов, М. С.** Влияние нагревания на гистологические свойства тапиоковых крахмалов, модифицированных разными амилолитическими бактериальными препаратами / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 20. – С. 123–127.

5. Nikitina, E. Effect of fermented modified potato starches to low-fat yogurt / E. Nikitina, R. A. Riyanto, **M. Tsyganov** [et al.]. – DOI 10.12691/jfnr-7-7-10 // Journal of food and nutrition research. – 2019. – Vol. 7, № 7. – P. 549–553.

6. Nikitina, E. V. Physico-chemical and antioxidant properties of skimmed varenets (slavic baked milk yogurt) mixed with enzyme-modified potato starches / E. V. Nikitina, T. A. Yurtaeva, **M. S. Tsyganov**, G. O. Ezhkova. – DOI 10.12944/crnfsj.9.1.09 // Current research in nutrition and food science. – 2021. – Vol. 9, № 1. – P. 88–99.

7. **Tsyganov, M. S.** Cassava starch as an effective texture corrector of fat-free dairy products based on symbiotic starter culture / M. S. Tsyganov, G. O. Ezhkova, E. V. Nikitina, M. A. Kharitonova. – DOI 10.1155/2022/1087043 // International journal of food science. – 2022. – Vol. 2022. – Art. 1087043.

Прочие публикации

8. **Цыганов, М. С.** Полимеры в пищевой промышленности: анализ, тенденции, безопасность / М. С. Цыганов, А. Р. Галеева // Нугаевские чтения : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Казань, 3–5 дек. 2015 г.). – Казань : КНИТУ, 2015. – С. 33–35.

9. **Цыганов, М. С.** Экономические аспекты использования пищевых и биологически активных добавок в производстве продуктов питания / М. С. Цыганов, А. Р. Галеева // Пищевые технологии и биотехнологии : сб. материалов XV Междунар. конф. молодых ученых (Казань, 13–14 апр. 2016 г.). – Казань : БРИГ, 2016. С. 453–454.

10. **Цыганов, М. С.** Технологические свойства тапиоковых крахмалов, модифицированных с помощью амилосубтилина и амилазы *Bacillus licheniformis* / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Юность и знания – гарантия успеха – 2018 : сб. науч. тр. 5-й Междунар. молодеж. науч. конф. (Курск, 20–21 сент. 2018 г.) : в 2 т. – Курск : Унив. кн., 2018. – Т. 2. – С. 88–91.

11. **Цыганов, М. С.** Технология получения и свойства тапиокового крахмала ферментно модифицированного с помощью амилазы *Bacillus licheniformis* / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Студенчество в науке – инновационный потенциал будущего : материалы VI Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Набережные Челны, 13 апр. 2018 г.). – Набережные Челны : НГТТИ, 2018. – С. 385–389.

12. **Цыганов, М. С.** Сенсорная оценка маложирных йогуртов с ферментно модифицированными стабилизаторами / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее : сб. науч. ст. Всерос. науч. конф. (Курск, 17–18 окт. 2018 г.) : в 4 т. – Курск : ЮЗГУ, 2018. – Т. 3. – С. 193–197.

13. **Цыганов, М. С.** Тапиоковый крахмал как эффективный корректор текстуры маложирных кисломолочных напитков / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина,

Г. О. Ежкова // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVI Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 16–19 апр. 2019 г.) : в 3 ч. – Казань : КНИТУ, 2019. – Ч. 3. – С. 38–41.

14. **Цыганов, М. С.** Оценка физико-химических и технологических свойств маложирных йогуртов с ферментно модифицированными стабилизаторами / М. С. Цыганов // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : сб. науч. тр. по результатам работы V Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. (Вологда-Молочное, 23 апр. 2020 г.), т. 2, ч. 2. – Вологда-Молочное : Вологодская ГМХА, 2020. – С. 204–210.

15. **Цыганов, М. С.** Комплексная оценка маложирных йогуртов, изготовленных с ферментно модифицированными тапиоковыми крахмалами / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина, Г. О. Ежкова // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVII Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 20–23 апр. 2021 г.). – Казань : КНИТУ, 2021. – С. 676–681.

16. **Цыганов, М. С.** Скрининг качества обезжиренных кисломолочных продуктов в розничных магазинах города Казань в 2022–2023 гг. / М. С. Цыганов, Е. В. Никитина // Пищевые технологии и биотехнологии : материалы XVIII Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием (Казань, 18–21 апр. 2023 г.). – Казань : КНИТУ, 2023. – С. 672–675.

17. **Tsyganov, M.** Meat quality of quail fed diets enriched with probiotic lactobacilli / M. Tsyganov, E. Gavrilova, R. Volkov [et al.]. – DOI 10.1051/bioconf/20237101070 // BIO Web of Conferences. – 2023. – Vol. 71. – Art. 01070.

Список сокращений и условных обозначений

МКБ – молочнокислые бактерии.

КМП – кисломолочный продукт.

ОКМН – обезжиренный кисломолочный напиток.

ОКМНсСЗ – обезжиренный кисломолочный напиток на симбиотической закваске.

ФМК – ферментно модифицированный крахмал.

ВСС – водосвязывающая способность.

ИРВ – индекс растворимости в воде.

ВУС – водоудерживающей способности.

КОЕ – колониеобразующие единицы.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

ЭПС – экзополисахариды.

Подписано в печать 02.02.2024.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии
Уральского государственного экономического университета
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45