

На правах рукописи



КОСТЕНКО ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЙОГУРТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ
И МЕЛАССЫ МОЛОЧНОЙ СУХОЙ С ЛАКТУЛОЗОЙ**

4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ставрополь – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

Научный руководитель:

Борисенко Александр Алексеевич
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Станиславская Екатерина Борисовна
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии продуктов
животного происхождения ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
университет инженерных технологий»

Скорбина Елена Александровна
кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры технологии производства
и переработки сельскохозяйственной
продукции ФГБОУ ВО «Ставропольский
государственный аграрный университет»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный экономический университет»

Защита состоится «17» декабря 2025 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета 24.2.398.07 при ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 20 ауд. 312.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 и на сайте: <https://ncfu.ru/upload/medialibrary/ade/r6vqzvu22u8cile1ko67afk65q5ltswf/Dissertatsiya-Kostenko-E.G..pdf>

С авторефератом можно ознакомиться по адресу: <https://ncfu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchite-dissertatsiy/32798/>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.398.07,
кандидат технических наук, доцент



Д.С. Мамай

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время возрастает интерес к поиску новых технологических решений, которые позволяют повысить эффективность традиционных способов производства кисломолочных продуктов и обеспечить высокие потребительские свойства готовой продукции. Важным направлением научных исследований является разработка технологий, которые могут способствовать интенсификации процесса ферментации молочного сырья. При производстве кисломолочных продуктов снижение длительности процесса ферментации без потери их качества является актуальной проблемой. Обеспечение данного процесса требует значительных энергетических затрат и производственных площадей. Поэтому ускорение процесса ферментации молочного сырья и сокращение времени данной технологической стадии при производстве кисломолочных продуктов входит в состав приоритетных задач современных научно-практических исследований в данной области.

Одним из перспективных технологических приемов интенсификации процесса ферментации молочного сырья является его ультразвуковая обработка. На сегодняшний день ультразвук уже подтвердил свою эффективность для направленного изменения качественных свойств различных пищевых систем, интенсификации физико-химических и биологических процессов, химических и биохимических реакций. Благодаря этим свойствам, а также появлению сравнительно недорогого, эффективного и надёжного ультразвукового оборудования, позволяющего генерировать ультразвук различной частоты и интенсивности, данный способ получает всё более широкое применение в различных технологических процессах пищевой промышленности.

Не менее актуальной остается и задача вовлечения в производственный цикл кисломолочных продуктов вторичных ресурсов молочной промышленности. Поиск технологических решений по переработке мелассы молочной, являющейся побочным продуктом производства лактозы, привел к

созданию её сухого концентрата с лактулозой «ЛактуВет-1». Его применение в технологии кисломолочных продуктов открывает новые возможности по расширению ассортимента пищевой продукции с пребиотическим действием за счет рационального использования вторичных ресурсов молочной промышленности.

Степень разработанности темы исследования. Исследования, направленные на возможность использования ультразвуковой обработки в различных отраслях пищевой отрасли, в том числе для интенсификации процесса ферментации молочного сырья отражены в работах таких российских и зарубежных ученых, как: Брацихин А.А., Калинина И.В., Красуля О.Н., Маргулис М.А., Потороко И.Ю., Теофилактова О.В., Шестаков С.Д., Ashokkumar M., Bosiljkov T., Gholamhosseinpour A., Huang G., Li W., Shikha Ojha K., Sachin P. Ramteke, Sfakianakis P., Hanh T.H Nguyen., Triralo V. и другие. В целом, ультразвуковая обработка является одним из наиболее перспективных методов интенсификации производства ферментированных молочных продуктов. Она открывает производителям новые возможности по созданию высококачественных, безопасных и экономически выгодных продуктов, которые могут быть предложены широкой аудитории потребителей.

Существенный вклад в развитие технологии кисломолочных продуктов с профилактическими свойствами, в том числе пребиотическим действием, внесли отечественные и зарубежные ученые, в том числе: Банникова А.В., Ганина В.И., Гаврилова Н.Б., Голубева Л.В., Горлов И.Ф., Дунченко Н.И., Евдокимов И.А., Забодалова Л.А., Крючкова В.В., Курченко В.П., Лодыгин А.Д., Мельникова Е.И., Просеков А.Ю., Рябцева С.А., Сложенкина М.И., Станиславская Е.Б., Тамим А.Й., Тихомирова Н.А., Храмцов А.Г., Allgeyer L.C., Miller M.J., Lee S.-Y, Gere A. и другие.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является научно-экспериментальное обоснование и разработка технологии йогурта с

применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести анализ научно-технических и патентных источников информации, обосновать возможность применения и определить диапазоны основных рабочих параметров ультразвуковой обработки для интенсификации процесса ферментации молочного сырья;
- определить рациональные режимы ультразвуковой обработки в технологии производства йогурта;
- исследовать влияние ультразвуковой обработки на интенсификацию процесса ферментации молочного сырья, микроструктурные, реологические и органолептические характеристики йогурта;
- обосновать возможность применения мелассы молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» при производстве йогурта;
- изучить влияние ультразвуковой обработки на качественные характеристики йогурта с мелассой молочной сухой с лактулозой;
- разработать технологию производства йогурта с применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой, определить его хранимоспособность;
- провести оценку экономической эффективности разработанной технологии.

Научная новизна работы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность применения ультразвуковой обработки для интенсификации процесса ферментации молочной смеси при производстве йогурта. Впервые экспериментально установлено и обосновано оптимальное время для проведения повторной ультразвуковой обработки молочной смеси, которое соответствует окончанию лаг-фазы роста термофильных молочнокислых культур.

Установлены режимы ультразвуковой обработки, которые обеспечивают интенсификацию процесса ферментации молочного сырья, а

также способствуют улучшению структурно-механических и потребительских характеристик йогурта.

Экспериментально подтверждена возможность применения мелассы молочной сухой с лактулозой в технологии производства йогурта. Изучено влияние ультразвуковой обработки с установленными режимами на реологические и органолептические свойства йогурта с мелассой молочной сухой с лактулозой.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическую значимость работы представляют полученные сведения о влиянии ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой на процесс ферментации молочного сырья, а также качественные характеристики йогурта. Предложены и обоснованы параметры, режимы и способы применения ультразвуковой обработки в технологии йогурта (новизна способов подтверждена 3 патентами РФ).

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны рецептура и технология йогурта с использованием ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой (ТУ 10.13.14-001-70438614-2024. Проведена апробация разработанной технологии в производственных условиях АО «Молочный комбинат «Ставропольский».

Осуществлена коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности за счет заключения договора о передаче промышленному предприятию исключительного права на изобретение «Способ производства йогурта».

Методология и методы исследований. Работа выполнялась с использованием стандартных, общепринятых и специальных методов исследования физико-химических, реологических, органолептических и показателей безопасности объектов исследования. Математическая обработка экспериментальных данных и их графическое представление, выполнены с помощью пакетов программ Microsoft Office 2016 и Statistica 12.

Компьютерное молекулярное моделирование выполнено с использованием программ VMD и NAMD.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований влияния ультразвуковой обработки на интенсификацию процесса ферментации молочного сырья и свойства готовой продукции при производстве йогурта;

- результаты исследований влияния ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой на реологические и органолептические свойства йогурта;

- технология йогурта с применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой.

Степень достоверности результатов. Степень достоверности подтверждается 3-5 кратной повторностью экспериментов с применением стандартных и общепринятых методик, статистической обработкой полученных данных, использованием современных поверенных приборов и оборудования, имеющих установленный предел отклонений, проведением опытно-промышленных испытаний разработанной технологии.

Апробация результатов. Основные положения работы доложены на: научно-практических конференциях «Университетская наука – региону», г. Ставрополь, 2015, 2019, 2023 г.; международных научных форумах молодых ученых «Наука будущего – наука молодых», г. Севастополь, 2015 г., г. Нижний-Новгород, 2017 г.; VIII международной научно-практической конференции «Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России», г. Ставрополь, 2021 г.; международной конференции «Моделирование в инженерном деле», г. Москва, 2021 г.; акселерационной программе «NCFU-Techies», г. Ставрополь, 2022 г.; международном конгрессе «Моделирование сложных технических систем», г. Москва, 2022 г.; III международной научно-практической конференции «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Барнаул,

2024 г.; международной научно-практической конференции «Обеспечение технологического суверенитета АПК: подходы, проблемы, решения», г. Екатеринбург, 2024 г.

По результатам научно-исследовательской работы выигран конкурс научных проектов молодых ученых «Инновации пищевой индустрии», г. Ставрополь, 2021 г.; выиграны и реализованы гранты от Фонда содействия инновациям по программам: «УМНИК» (№8057ГУ/2015), 2015 г.; «Студенческий стартап» (№720ГССС15-L/81136), 2022 г.

Часть исследований выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по теме: «Создание первого в России высокотехнологичного производства пребиотика лактулозы и функциональных молочных ингредиентов для импортозамещения в медицине, ветеринарии, детском питании, производстве лечебно-профилактических продуктов для людей и животных» (Соглашение №075-11-2022-021 от 07.04.2022 г.) в рамках Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218 на базе ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

Личное участие автора. Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно, является результатом научных исследований, проведенных лично автором и при непосредственном участии автора в качестве исполнителя программ выигранных конкурсов и реализованных проектов.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 20 публикациях, из них 4 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 4 в журналах, входящих в базу цитирования Scopus, получено 3 патента РФ на изобретения.

Структура и объём работы. Текст диссертации состоит из четырех глав и включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы, состоящий из 161 источника, 15 приложений. Диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, определены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты анализа направлений и перспектив применения ультразвуковой обработки в технологических процессах пищевых производств. Рассмотрены методы интенсификации процесса ферментации в технологии кисломолочных продуктов, проведен обзор существующих способов и возможностей применения ультразвуковой обработки при их производстве. Обобщен опыт по существующим разработкам, направленным на производство кисломолочных продуктов с добавлением компонентов, обладающих профилактическими свойствами.

Во второй главе описана организация работы, объекты и методы исследований. Схема организации работы и проведения исследований представлена на рисунке 1. Объектами исследования являлись: молочная смесь в процессе сквашивания, подготовленная на основе нормализованного пастеризованного молока, с внесенной в него сухой йогуртовой закваской Lactoferm Eco (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus.*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgarius.*); йогурт, приготовленный с применением ультразвуковой обработки и без неё; йогурт, приготовленный с добавлением сухой мелассы молочной с лактулозой «ЛактуВет-1», полученный с применением ультразвуковой обработки и без неё.

Для проведения исследований с использованием ультразвукового процессора Hielscher UP400S обосновано применение соноотродов с диаметром рабочей части 7 и 14 мм (Н7 и Н14). Определены диапазоны основных рабочих параметров ультразвуковой обработки для интенсификации процесса ферментации молочного сырья при производстве йогурта: интенсивность 58-266 Вт/см², удельная мощность 580-1500 Вт/дм³, длительность обработки 10-90 с при частоте 24±1 кГц.



Рисунок 1 – Схема организации и проведения исследования

В третьей главе представлены результаты проведенных исследований по обоснованию использования ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой в технологии йогурта.

На первом этапе проведен сравнительный эксперимент, направленный на оценку скорости созревания сгустков йогурта и формирование органолептических свойств готового продукта под влиянием однократной (первичной) ультразвуковой обработки, проводимой сразу после внесения закваски. Показано, что в образцах йогурта, полученных под воздействием ультразвуковой обработки в диапазоне предложенных рабочих параметров, происходит интенсификация процесса ферментации молочного сырья (продолжительность в 1,2 раза меньше в сравнении с контрольным образцом без обработки). При этом ультразвуковая обработка с применением сонотрода Н7 (использован для дальнейших исследований) по отношению к контролю (без обработки), и образцам, полученным с использованием сонотрода Н14, привела к улучшению органолептических характеристик готового йогурта.

На втором этапе проведено исследование по определению наиболее рациональных параметров первичной ультразвуковой обработки для интенсификации процесса ферментации молочного сырья. Исследование проводилось на основе анализа физико-химических показателей образцов йогурта: эффективной вязкости (η), степени синерезиса (S), активной кислотности (рН) и титруемой кислотности (Т). Изучение влияния варьируемых факторов (P – относительная мощность ультразвукового воздействия, % от номинальной мощности оборудования; t – продолжительность обработки, с) на физико-химические показатели йогурта проводилось графоаналитическим методом путем построения поверхностей отклика (рисунок 2).

На основании полученных результатов исследования принят режим первичной ультразвуковой обработки при частоте 24 ± 1 кГц; относительная мощность $P=100\%$ (удельная мощность 840-860 Вт/дм³; интенсивность 264-266 Вт/см²), продолжительность $t=60$ с.

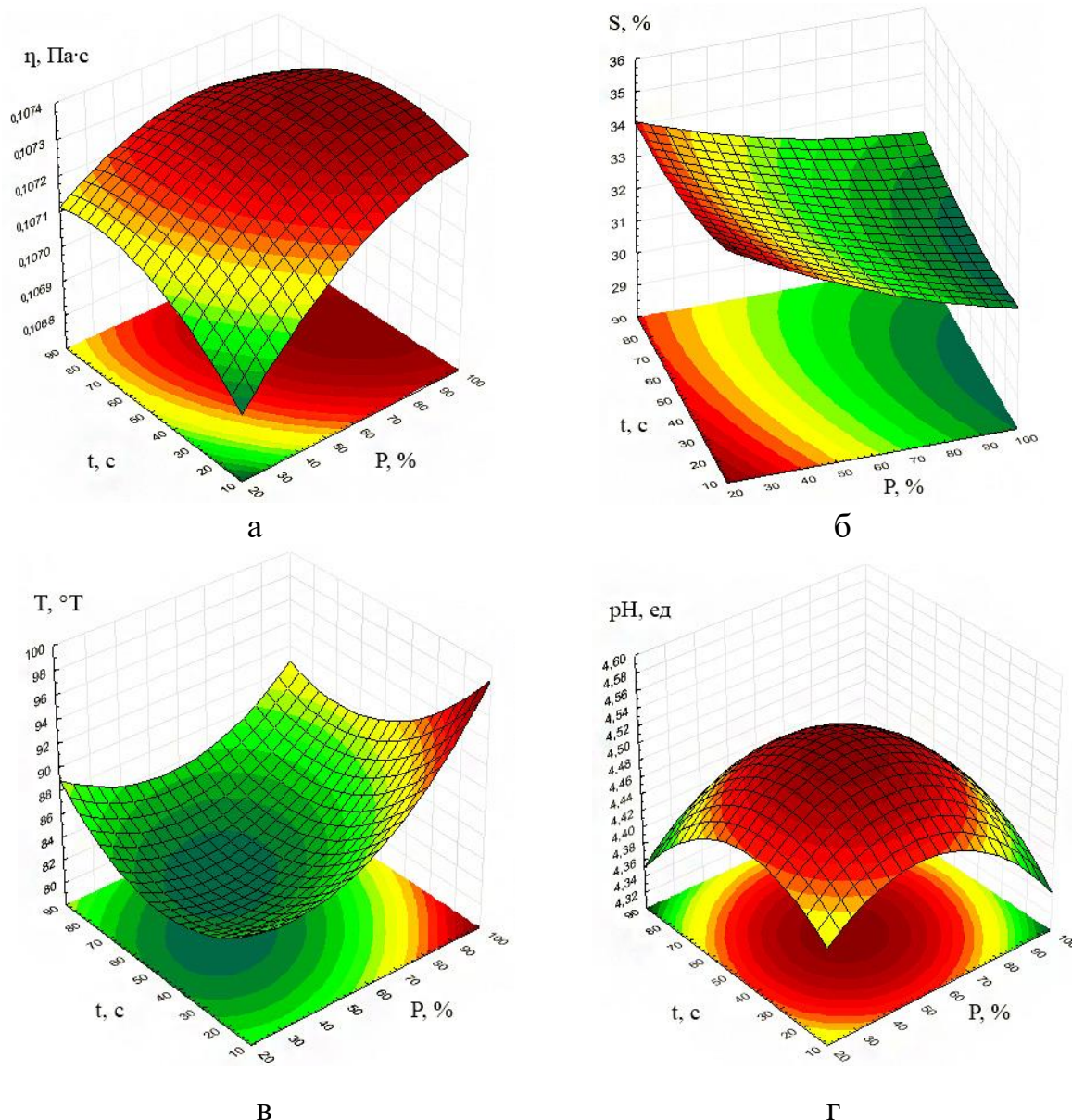


Рисунок 2 – Зависимость физико-химических показателей йогурта от параметров первичной ультразвуковой обработки: а – эффективная вязкость; б – степень синерезиса; в – титруемая кислотность; г – активная кислотность

На третьем этапе проведены исследования, направленные на установление влияния и определение рациональных режимов повторной ультразвуковой обработки, проводимой в период лаг-фазы роста заквасочных культур, когда микроорганизмы уже начинают проявлять свою биологическую активность, но без интенсивного размножения. Продолжительность данной фазы зависит от видовых особенностей

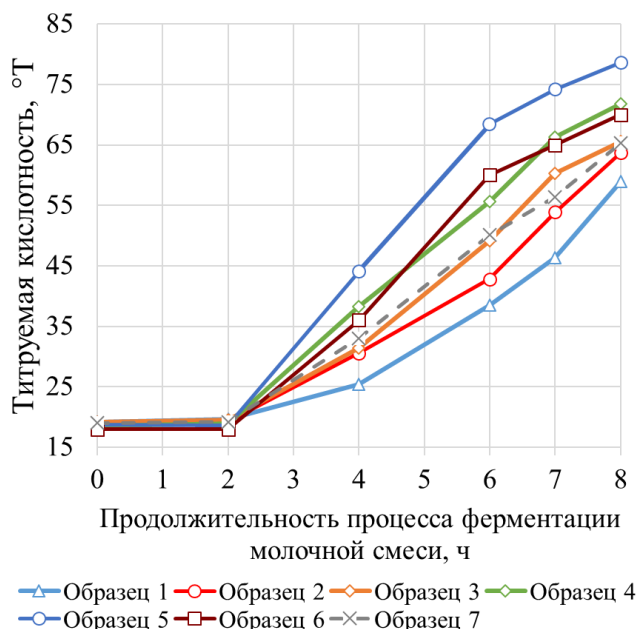
микроорганизмов, их количества, питательной среды и для исследуемых культур может составлять до 2-3 часов.

Результаты проведенных исследований показали, что повторная ультразвуковая обработка с относительной мощностью $P=100\%$ и продолжительностью $t=10$ с, проводимая через 2 часа после начала процесса ферментации, позволяет значительно ускорить процесс приготовления йогурта и повысить его органолептические характеристики. Время ферментации сокращается в 1,4 раза по отношению к контрольному образцу (без ультразвука) и в 1,2 раза в сравнении с образцом, полученным с помощью однократной обработки. При этом актуальным является вопрос определения точки на кривой лаг-фазы роста микроорганизмов, в которой проведение повторной ультразвуковой обработки может привести к максимальному эффекту.

Установлено, что для используемой в исследовании закваски лаг-фаза роста микроорганизмов наблюдается в промежутке от 0 до 2,5 часов. В связи с этим, проведено исследование с повторной ультразвуковой обработкой через 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 часа после начала ферментации.

Образец №1 являлся контрольным, не подвергался обработке и после внесения закваски сразу отправлялся на термостатирование ($40\pm 2^\circ\text{C}$). Образцы №2-5 подвергались первичной ультразвуковой обработке. Образец №6 подвергался ультразвуковой обработке в импульсном режиме, чередуя работу в течение 0,6 секунд с короткими паузами в 0,4 секунды. Образец №7 подвергался только первичной (однократной) обработке, после которой сразу отправлялся на термостатирование. После первичной ультразвуковой обработки образцы №2–6 термостатировали и затем подвергали повторной ультразвуковой обработке через разные промежутки времени (№2 – через 1 час, №3 – через 1,5 часа, №4 и №6 – через 2 часа, №5 – через 2,5 часа). После повторной обработки образцы снова помещались в шкаф для термостатирования до образования устойчивого сгустка, затем охлаждали до температуры $4\pm 2^\circ\text{C}$.

Результаты эксперимента показали, что максимальная скорость нарастания кислотности среди исследуемых образцов наблюдается при использовании повторной ультразвуковой обработки в период 2,5 часа от начала термостатирования (образец №5, рисунок 3). Это позволяет ускорить



процесс ферментации молочной смеси в 1,6-1,7 раза. На основании этого сделан вывод о том, что время окончания лаг-фазы роста молочнокислых культур является наиболее рациональным для проведения повторной ультразвуковой обработки с целью интенсификации процесса ферментации.

Рисунок 3 – Динамика нарастания титруемой кислотности молочной смеси в процессе ферментации ($m_{cp} = \pm 1,8^{\circ}T$)

В результате проведенных исследований определены режимы двухэтапной ультразвуковой обработки, при которых происходит максимальная интенсификация процесса ферментации молочной смеси: первичная обработка с параметрами $P=100\%$, $t=60$ с, промежуточное термостатирование вплоть до окончания лаг-фазы роста термофильных молочнокислых культур и повторная ультразвуковая обработка с параметрами $P=100\%$, $t=10$ с.

Изучено влияние двухэтапной ультразвуковой обработки на реологические и в целом на качественные характеристики готовой продукции при производстве йогурта. Анализ размеров частиц дисперсной фазы молока с внесенной в него закваской проводили через 2,5 часа после начала процесса ферментации. С использованием методов фотонно-корреляционной и акустической спектроскопии установлено, что в опытном образце молочной смеси (с применением двухэтапной ультразвуковой обработки) средний гидродинамический радиус частиц в 1,4 раза меньше ($58,6 \pm 1,4$ нм), чем в

контрольном ($82,3 \pm 1,6$ нм), полученным традиционным способом. Средний диаметр белковых (казеиновых) частиц в опытном образце меньше в 1,4 раза, а жировых шариков – в 1,9 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Размеры частиц дисперсной фазы молочной смеси по фракциям

Вид фракции	Средний диаметр, нм		m _{ср}
	Контрольный образец	Опытный образец	
Белковые частицы	154	110	$\pm 4,0$
Жировые шарики	1100	579	$\pm 5,0$

Результаты микроскопии позволили сделать вывод о том, что по сравнению с контролем (рисунок 4а) в йогурте, приготовленном с использованием ультразвуковой обработки (рисунок 4б), сформировалась более однородная сетчатая белковая матрица с высоким уровнем взаимосвязей и меньшим размером пор, равномерно расположенных по всей структуре.

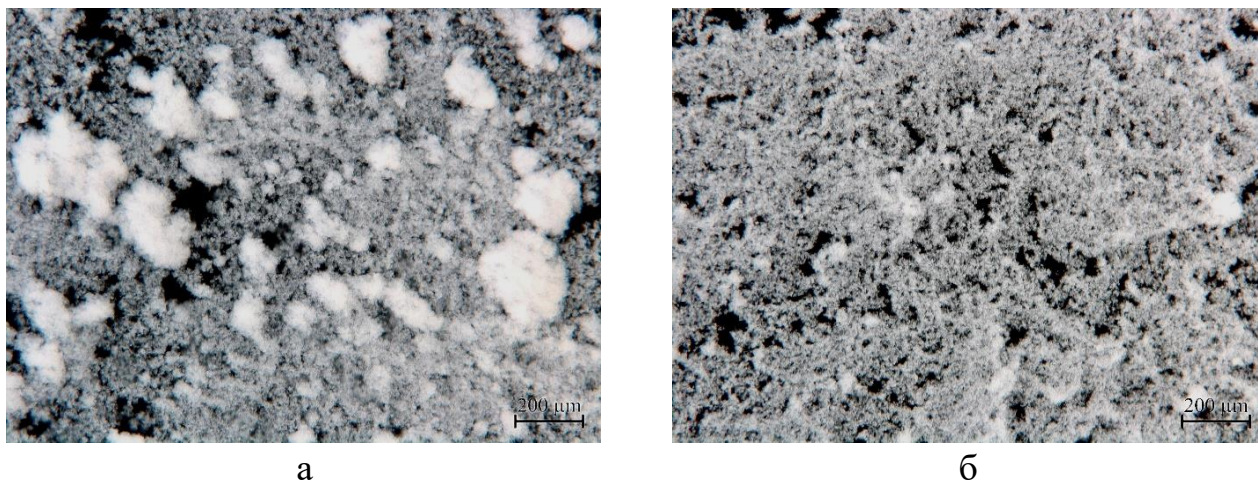


Рисунок 4 – Микрофотографии йогурта при увеличении $\times 50$:

а – контрольный образец; б – опытный образец

На микрофотографиях контрольного образца присутствуют отдельные крупные (от 40 до 320 мкм) белковые конгломераты, отсутствующие в структуре опытного йогурта. Учитывая результаты оценки размера частиц дисперсной фазы молочной смеси, используемой для приготовления йогурта, можно сделать вывод о том, что ультразвуковая обработка при установленных режимах привела к разделению части конгломератов мицелл казеина на

субъединицы, которые во время ферментации способствовали образованию высокоструктурированной белковой сети за счет хорошего взаимодействия друг с другом и с сывороточными белками.

Исследованы реологические свойства опытного и контрольного образцов йогурта (рисунок 5). Значения напряжения сдвига и коэффициента эффективной вязкости для опытного продукта на всем диапазоне изменения градиента скорости деформации в обоих направлениях (при возрастании и убывании) стабильно выше, чем у контрольного образца.

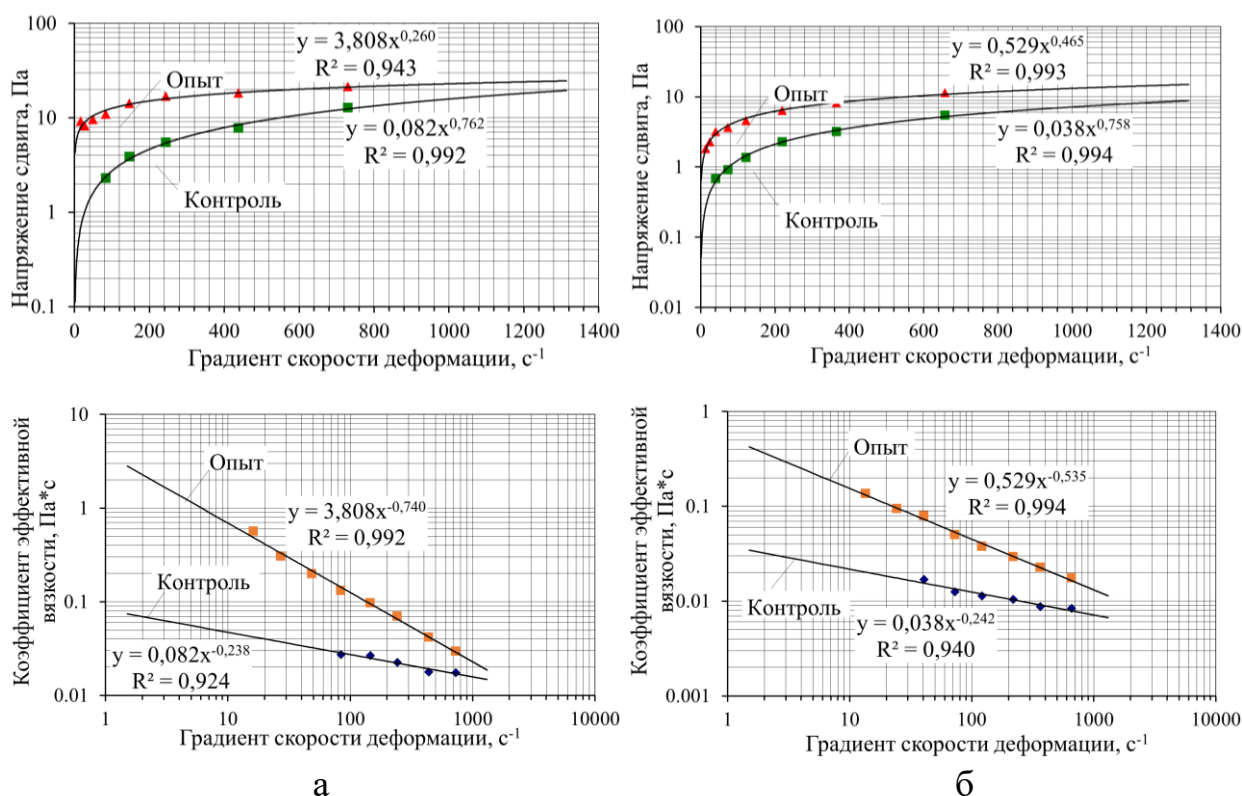


Рисунок 5 – Графики зависимостей напряжения сдвига и коэффициента эффективной вязкости от градиента скорости деформации исследуемых образцов йогурта: а – при возрастании градиента скорости деформации; б – при убывании градиента скорости деформации

Для определения возможности использования мелассы молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» в рецептуре йогурта ее вносили в количестве 3, 4 и 5% от общей массы смеси. Установлено, что у образцов с добавлением мелассы молочной сухой с лактулозой происходит более интенсивное нарастание кислотности в сравнении с контрольным образцом (без мелассы).

Наилучшими органолептическими свойствами обладает йогурт, в состав которого входит «ЛактуВет-1» в количестве 3% от общей массы молочной смеси. Готовый продукт имеет чистый кисломолочный вкус и запах, а также приятный светло-кремовый цвет.

Изучено влияние двухэтапной ультразвуковой обработки на реологические и в целом качественные характеристики йогурта с мелассой молочной сухой с лактулозой. Установлено, что ультразвуковая обработка способствует формированию более мелкодисперсной структуры заквашенной молочной смеси с внесенной в нее мелассой молочной сухой с лактулозой (рисунок 6). Средний диаметр белковых (казеиновых) частиц в опытном образце с ультразвуковой обработкой в 1,47 раза меньше по отношению к контрольному (без ультразвуковой обработки), средний диаметр жировых шариков – меньше в 2,89 раза.

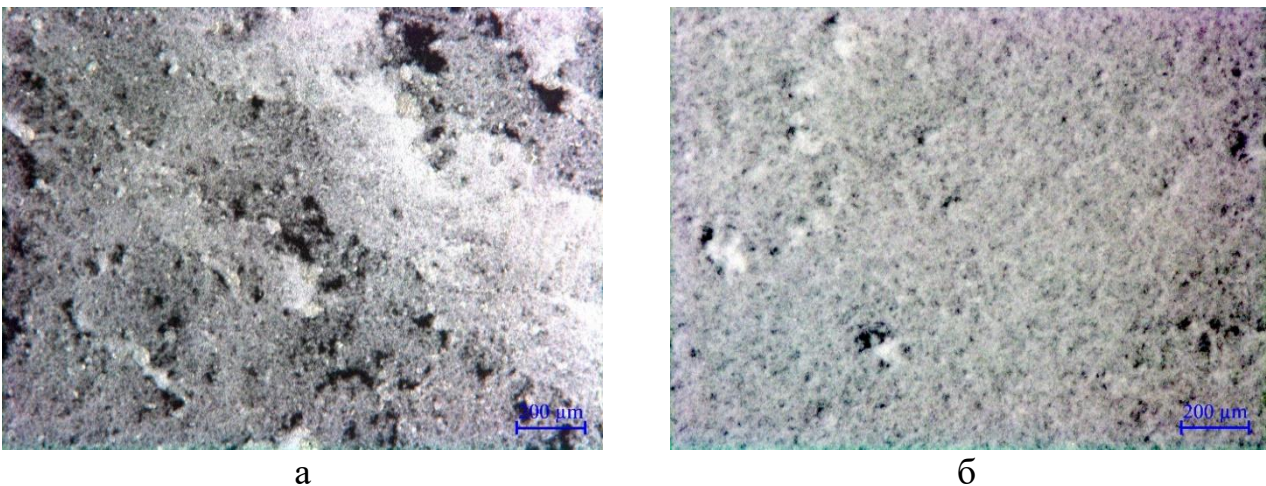


Рисунок 6 – Микрофотографии йогурта с мелассой молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» при увеличении $\times 50$: а – контрольный образец;
б – опытный образец

Йогурт с мелассой молочной сухой с лактулозой, полученный с использованием ультразвуковой обработки, характеризуется более высокими значениями показателей вязкости по сравнению с контрольным образцом. Наибольшая величина отношений напряжения сдвига и коэффициента эффективной вязкости опытного образца к контрольному наблюдается при

минимальных и небольших значениях градиента скорости деформации, которая затем постепенно снижается в области его относительно высоких значений (таблица 2). Данный эффект связан с падением вязкости при достижении предела текучести исследуемой пищевой системы.

Таблица 2 – Зависимость отношений напряжения сдвига и эффективной вязкости опытного образца к контрольному

Градиент скорости деформации, c^{-1}	Отношение напряжения сдвига опытного образца к контрольному (при возрастании градиента скорости деформации)	Отношение коэффициента эффективной вязкости опытного образца к контрольному (при убывании градиента скорости деформации)
1,5	4,0	3,5
13,5	3,1	2,6
120,0	2,4	1,9
730,0	2,0	1,5
1300,0	1,8	1,4

Проведенная органолептическая оценка показала, что контрольный и опытный образцы йогурта представляют собой в меру вязкую жидкость с ненарушенным сгустком, кисломолочным запахом и приятным светло-кремовым цветом. При этом продукт, полученный с использованием ультразвуковой обработки, отличается более высокой вязкостью и однородной консистенцией.

В рамках проводимого исследования выполнено компьютерное молекулярное моделирование и изучена возможность применения ультразвуковой обработки для восстановления растворов молочной сыворотки. Установлено, что наиболее рациональным режимом ультразвуковой обработки для восстановления растворов сухой молочной сыворотки при частоте 24 ± 1 кГц является: интенсивность 60-65 Вт/см², удельная мощность 2300-2500 Вт/дм³, продолжительность 30-50 с. Экспериментально подтверждено и научно обосновано, что растворы восстановленной сыворотки при использовании ультразвуковой обработки обладают высокими качественными характеристиками и стабильностью.

В четвертой главе разработана рецептура и технология (рисунок 7) йогурта с применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой.

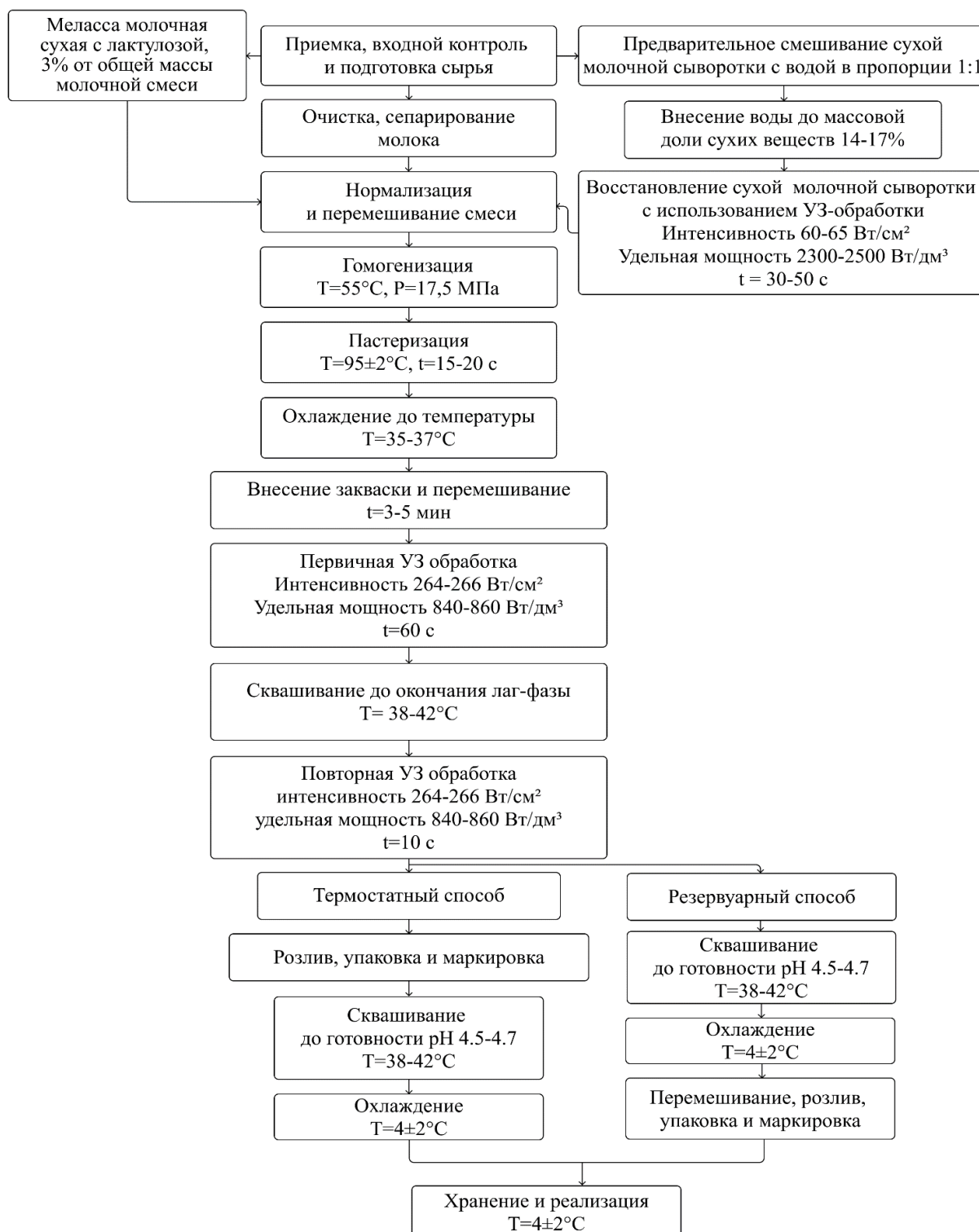


Рисунок 7 – Технологическая схема производства йогурта с применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой

Установлено, что предлагаемая технология позволяет получать готовую продукцию с требуемым уровнем качества, безопасности и хранимоспособности. Посторонней микрофлоры не выявлено. Количество БГКП не обнаружено в рекомендуемом объеме продукта. Количество дрожжей и плесеней не превышает значение, установленное ТР ТС 033/2013. Йогурты содержат требуемый уровень молочнокислых микроорганизмов. Подтверждено соответствие органолептических, микробиологических показателей йогурта требованиям нормативной документации в течение всего срока хранения. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии установлено, что в одной порции йогурта (200 грамм), приготовленного по предлагаемой технологии, содержится не менее 0,7 грамм лактулозы, что соответствует 35% от минимального рекомендуемого суточного потребления данного пребиотика. Определена величина экономического эффекта, измеряемая дополнительно получаемой прибылью от внедрения разработанной технологии, которая составила от 6,8 до 7,7 тыс. руб. на каждую тонну продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы обобщены в представленных ниже выводах и рекомендациях.

1. Проведен анализ актуальных источников информации, обоснована возможность применения и определены диапазоны основных рабочих параметров ультразвуковой обработки для интенсификации процесса ферментации молочного сырья: интенсивность 58-266 Вт/см², удельная мощность 580-1500 Вт/дм³, длительность обработки 10-90 с при частоте 24±1 кГц.

2. Определены рациональные режимы ультразвуковой обработки в технологии производства йогурта. Для восстановления сухой молочной сыворотки при частоте 24±1 кГц рекомендованы: интенсивность 60-65 Вт/см², удельная мощность 2300-2500 Вт/дм³, продолжительность 30-50 с. Для

интенсификации процесса ферментации при частоте 24 ± 1 кГц рекомендованы: интенсивность 264-266 Вт/см², удельная мощность 840-860 Вт/дм³, продолжительность первичной обработки 60 с, повторной 10 с. Установлено, что время окончания лаг-фазы роста молочнокислых культур является оптимальным для проведения повторной ультразвуковой обработки с целью интенсификации процесса ферментации молочного сырья.

3. На основе анализа результатов экспериментальных исследований установлено, что ультразвуковая обработка с предложенными режимами позволяет: повысить скорость нарастания титруемой кислотности и интенсифицировать процесс ферментации молочной смеси в 1,6-1,7 раза, снизить размер белковых частиц и жировых шариков в 1,4 и 1,9 раза соответственно, обеспечить формирование однородной сетчатой белковой матрицы с высоким уровнем взаимосвязей, меньшим размером пор, улучшенными реологическими и органолептическими свойствами готового продукта.

4. Обоснована возможность применения и установлено оптимальное количество (3% от общей массы молочной смеси) мелассы молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» для производства йогурта с пребиотическим действием и высоким уровнем органолептических характеристик.

5. Установлено, что ультразвуковая обработка в технологии йогурта с мелассой молочной сухой с лактулозой способствует формированию мелкодисперсной структуры молочной смеси, увеличению значения коэффициента эффективной вязкости молочного сгустка (в зависимости от градиента скорости деформации в 1,4-4,0 раза), повышению потребительских свойств готового продукта.

6. Разработана технология производства йогурта с применением ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой. Проведена комплексная оценка качества йогурта, установлена его хранимоспособность. Технология прошла положительную апробацию в производственных условиях АО «Молочный комбинат «Ставропольский».

7. Экономический эффект от внедрения в производство предлагаемой технологии, измеряемый дополнительно получаемой прибылью, связан с установленным интенсифицирующим действием ультразвуковой обработки и составляет от 6,8 до 7,7 тыс. руб. на одну тонну готовой продукции.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в развитии предложенных подходов и технологических решений по применению ультразвуковой обработки и мелассы молочной сухой с лактулозой для создания других видов кисломолочных продуктов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Костенко, К.В. Оптимизация процесса восстановления молочной сыворотки методом кавитационной дезинтеграции / К. В. Костенко, А. А. Брацихин, **Е.Г. Лещенко (Костенко)** [и др.] // Вестник СКФУ. – 2015. – №5 (50). – С. 7-13.

2. Костенко, К.В. Сравнительная оценка методов восстановления молочной сыворотки / К. В. Костенко, А.А. Брацихин, **Е.Г. Лещенко (Костенко)** и др. // Молочная промышленность. – 2017. – №11. – С. 52-53.

3. Борисенко, А.А. Ультразвуковая обработка в технологии производства йогурта / А.А. Борисенко, **Е.Г. Костенко**, К.В. Костенко [и др.] // Молочная промышленность – 2023. – №5. – С. 30-33.

4. Борисенко, А.А. Использование мелассы молочной сухой с лактулозой в технологии производства йогурта с ультразвуковой обработкой / А.А. Борисенко, **Е.Г. Костенко**, А.А. Борисенко [и др.] // Индустрия питания. – 2024.– Т9. – №1. – С. 16-24.

Статьи в международных научных изданиях, индексируемых в Scopus:

5. Bratsikhin, A. Research of reconstituted whey particle size changing during its storage /A. Bratsikhin, **E. Leschenko (Kostenko)**, K. Kostenko // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2017. – Vol. 20. – P. 15-19.

6. Kostenko, K. Computer modeling of whey protein B-lactoglobulin behavior in the activated liquid systems / К. Kostenko, А. Bratsikhin, **E. Leshchenko (Kostenko)**, А. Borisenko [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2017. – Vol. 20 – P. 70-74.

7. Bratsikhin, A. Influence of cavitation disintegration on dairy foods production / A. Bratsikhin, **E. Leschenko (Kostenko)**, K. Kostenko // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – Vol. 27. – P. 173-177.

8. Borisenko A. Methodology of multilevel modeling of food systems / A. Borisenko, L. Saricheva, A. Borisenko, O. Oleshkevich, D. Mamay, **E. Kostenko** [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – 2833 (1). – № 020028.

Статьи в журналах и сборниках материалов конференций:

9. **Лещенко (Kostenko), Е.Г.** Инновационные технологии производства высококачественных молочных десертов / Е.Г. Лещенко (Kostenko), К.В. Костенко // Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых» – Севастополь. – 2015. – Т1. – С. 37-38.

10. **Лещенко (Kostenko), Е.Г.** Исследование процесса восстановления сухой молочной сыворотки методом ультразвуковой кавитации и электрохимической обработки воды / Е.Г. Лещенко, К.В. Костенко // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 5. – С. 5-10.

11. Костенко, К.В. Результаты применения кавитационной дезинтеграции и ЭХА-сред при восстановлении сухой молочной сыворотки / К.В. Костенко, Д.С. Киверин, М.А. Шпак, **Е.Г. Лещенко (Kostenko)** / Материалы V-й ежегодной НПК «Университетская наука – региону». – Ставрополь: СКФУ, 2017. – С. 285-289.

12. **Лещенко (Kostenko), Е.Г.** Разработка установки для восстановления сухой молочной сыворотки методом кавитационной дезинтеграции с применением эха-воды / Е.Г. Лещенко (Kostenko), К.В. Костенко // Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых». – Нижний Новгород, 2017. – С. 211-212.

13. **Лещенко (Kostenko), Е.Г.** Современное состояние оборудования для восстановления молочных продуктов и перспективы его совершенствования / Е.Г. Лещенко (Kostenko), К.В. Костенко // Материалы V-й ежегодной НПК «Университетская наука – региону». – Ставрополь: СКФУ, 2017. – С. 327-331.

14. Храмцов, А.Г. Изучение дисперсности растворов сухой молочной сыворотки, восстановленной методом кавитационной дезинтеграции / А.Г. Храмцов, А.А. Брацихин, К.В. Костенко, **Е.Г. Лещенко (Kostenko)** // Индустрия питания. – 2018. – Т3. – № 3. – С. 4-8.

15. **Лещенко (Kostenko), Е.Г.** Исследование влияния ультразвуковой обработки на процесс ферментации кисломолочных продуктов / Е.Г. Лещенко (Kostenko) [и др.] // Материалы VII ежегодной НПК «Университетская наука – региону». – Ставрополь: СКФУ, 2019. – С. 124-127.

16. Борисенко, А.А. Применение ультразвукового воздействия в пищевой промышленности / А.А. Борисенко, А.А. Брацихин, К.В. Костенко, **Е.Г. Костенко** [и др.] // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России: Материалы VIII Международной НПК. – Ставрополь: ООО «Бюро новостей». – 2021. – С. 43-47.

17. **Костенко, Е.Г.** Исследование влияния ультразвуковой обработки на средний гидродинамический радиус частиц дисперсной фазы при ферментации молочной смеси / Е.Г. Костенко, А.А. Борисенко, К.В. Костенко, А.А. Борисенко // Материалы X (67-й) ежегодной НПК «Университетская наука - региону». – Ставрополь: СКФУ, 2023. – С. 117-119.

Патенты на изобретения:

18. Патент №2650815 Российская Федерация, МПК А23С 21/00, А23С 9/146. Способ восстановления сухой молочной сыворотки: №2016129736: заявл. 20.07.2016: опубл.: 17.04.2018 / К.В. Костенко, **Е.Г. Лещенко (Костенко)**, А.А. Брацихин, Д.А. Салманова; заявитель Костенко К.В., **Лещенко Е.Г.**, Брацихин А.А. – 7 с.

19. Патент №2802480 Российская Федерация, МПК А23С 9/123, А23С 9/13. Способ получения йогурта: №2022134135: заявл. 23.12.2022: опубл.: 29.08.2023 / А.А. Борисенко, **Е.Г. Костенко**, К.В. Костенко, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, Г.С. Анисимов, М.С. Золотарева, А.Г. Храмцов; заявитель Северо-Кавказский федеральный университет. – 10 с.

20. Патент №2805172 Российская Федерация, МПК А23С 9/123. Способ получения йогурта: №2022126020: заявл. 05.10.2022: опубл.: 11.10.2023 / А.А. Борисенко, **Е.Г. Костенко**, К.В. Костенко, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, Г.С. Анисимов; заявитель АО «Молочный комбинат «Ставропольский». – 8 с.