

*На правах рукописи*



**ЗАХАРОВА Наталья Алексеевна**

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ БИОАКТИВНЫХ  
ЭМУЛЬСИЙ И ПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

Специальность 05.18.07 – «Биотехнология пищевых продуктов  
и биологических активных веществ»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

**Воронеж  
2020**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

**Научный руководитель:** **Попов Евгений Сергеевич**  
доктор технических наук, доцент  
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»).

**Официальные оппоненты:** **Машенцева Наталья Геннадьевна**  
доктор технических наук, доцент,  
(ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», профессор)

**Царева Наталья Ивановна**  
кандидат технических наук, доцент  
(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», доцент).

**Ведущая организация:** **ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва**

Защита диссертации состоится «26» февраля 2021 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» [www.vsuet.ru](http://www.vsuet.ru) «07» декабря 2020 г.

Автореферат размещен в сети интернет на официальных сайтах: ВАК Минобрнауки РФ <https://vak3.ed.gov.ru> и ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <http://www.vsuet.ru> «25» декабря 2020 г, разослан «20» января 2021 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук,  
на соискание ученой степени доктора наук  
Д 212.035.04, к.т.н., доцент



Е. В. Белокурова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Отклонение от нормы показателей микробиоценоза, дефицит пребиотиков и натуральных биоактивных эссенциальных нутриентов при условии снижения иммунитета и атаки новых вирусных инфекций, требует активизации фундаментальных и прикладных исследований, направленных на разработку ассортимента пищевых продуктов с расширенными функциональными свойствами, повышающих адаптационную устойчивость организма человека. Ряд программных документов правительства РФ актуализирует исследования в данной области технологической науки.

Эубиотики, а также биоактивные растительные масла достоверно обладают антигипоксантами и иммуномодулирующими свойствами, что особенно востребовано в условиях массового применения антибиотикотерапии, стрессов, атаки COVID-19. Актуальна разработка рецептурно-технологических решений ассортимента продукции с прогнозируемо формируемыми пробиотическими и антигипоксантами свойствами.

Повысить эффективность и биодоступность, вводимых в субстрат пребиотиков и биоактивных масел, возможно в результате формирования устойчивых гетерогенных систем эмульсионной природы.

Работа выполнялась в рамках плана госбюджетной научно-исследовательской работы кафедры сервиса и ресторанного бизнеса ФГБОУ ВО ВГУИТ «Разработка ресурсосберегающих технологий хранения и переработки сельхозсырья» (№ гос. регистрации ГР 01201253867), гранта Российского научного фонда «Оценка эффективности пребиотиков и пробиотиков, основанных на анализе микробиома кишечника с помощью высокопроизводительного секвенирования» (соглашение № 19-73-10023); программы «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, наименование проекта «Разработка технологий биокорректирующих пробиотических систем на основе устойчивых эмульсий ПНЖК» (договор № 14422ГУ от 12.07.2019 г). Научное направление диссертационного исследования связано с государственной бюджетной НИР научно-образовательного центра «Живые системы»: «Развитие теоретических и практических основ наук о жизни в обеспечении рационального использования сельскохозяйственных биоресурсов и продовольственной безопасности».

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в развитие теории и практики функциональных продуктов-эубиотиков внесли российские и зарубежные ученые: Антипова Л.В., Родионова Н.С., Грузи-

нов Е.В., Хамагаева И.С., Ардатская М.Д., Артюхова С.И., Гаврилова Н.Б., Ганина В.И., Забодалова Л.А., Крючкова В.В., Тутельян В.А., Уголев А.М., Шендеров Б.А., Soliva-Fortuny R., Agarwal K. N., Salvia-Trujillo L., Holzapfel W.H., Davidov-Pardo G., Reid G., Yao M., Acevedo-Fani A и др.

Несмотря на сравнительно глубокую проработку научно-технологических аспектов производства пробиотических пищевых форм, вопрос формирования биоактивных и устойчивых эмульсий на их основе остается не решенным.

**Цель работы.** Научное обоснование технологий новых синбиотических устойчивых пищевых эмульсий, обогащенных биоактивными растительными маслами.

В рамках поставленной цели решались следующие **задачи**:

- обобщить результаты информационно-патентного поиска и обосновать целесообразность выбора биоактивных масел из отечественного низкомасличного сырья, пробиотических консорциумов, эмульгаторов и стабилизаторов для получения устойчивых пробиотических эмульсий;

- оценить эмульгирующие свойства биомассы консорциумов пробиотических микроорганизмов на молочной основе в отношении масел зародышей пшеницы, семян льна, чиа, рыжика, конопли, горчицы, грецкого ореха, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза, абрикоса и винограда;

- установить закономерности формирования эмульсионных систем на пробиотической основе, установить параметры процесса повышения их устойчивости с применением эмульгаторов и стабилизаторов структуры;

- оценить влияние процессов эмульгирования и хранения эмульсий на концентрацию пробиотических микроорганизмов в активной форме и синтез микробных метаболитов;

- исследовать изменения форм связи влаги в процессе эмульгирования и последующем хранении пробиотических эмульсий, установить зависимости изменений их реологических свойств;

- обосновать рецептурно-компонентные решения пробиотических эмульсий с биоактивными растительными маслами, модифицировать технологию пробиотических молочно-растительных эмульсионных систем, разработать ассортимент функциональных продуктов на их основе, оценить потребительские свойства и безопасность;

- оценить антигипоксантные и холестеринемические свойства, проанализировать влияние разработанных продуктов на адаптационные ресурсы организма человека;

- разработать техническую документацию на производство пробиотических молочно-растительных эмульсионных продуктов, провести промышленную апробацию, рассчитать экономическую эффективность предлагаемых технических решений.

**Научная новизна.** Обобщены результаты информационно-патентного поиска, экспериментально доказана целесообразность создания пробиотических молочно-растительных систем путем эмульгирования биоактивных масел в пробиотической кисломолочной среде для обогащения пищевых систем природными иммуномодуляторами, антиоксидантами, витаминами.

На основе исследованных закономерностей эмульгирования биоактивных масел в среде биомассы консорциумов пробиотических микроорганизмов из числа *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, установлена возможность и выявлена специфичность процессов получения устойчивых эмульсий с содержанием биоактивных масел до 50% и сохранения концентрации активных клеток не менее  $10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup> для каждого консорциума микроорганизмов.

Выявлены изменения фазового состояния влаги, закономерности повышения устойчивости эмульсионных структур с содержанием биоактивных масел до 50% при введении в систему яичного белка - 3,0-3,5%, соевого лецитина - 2,5-3,5%, яичного порошка - 3,0-3,5%, сухого обезжиренного молока (СОМ) - 2,5-3,5%, гуаровой камеди - 2,5-3,5%, ксантановой камеди - 2,0-3,0%.

Методом дифференциально-термического анализа выявлены закономерности фазовых изменений влаги в пробиотических эмульсиях, установлено возрастание доли связанной влаги в различных формах до 12-18%, что обеспечивает увеличение срока годности продуктов до 21 дня.

Разработана математическая модель и зарегистрирован программный продукт, обеспечивающий возможность математического прогнозирования свойств эмульсий в диапазоне 20-70% жира для широкого спектра биоактивных масел.

Установлено, что синбиотические эмульсии влияют на эффективность энергетического и липидного обменов организма человека, повышение уровня оксигенации гемоглобина крови на 0,85%, увеличение концентрации углекислого газа в выдыхаемой газовой среде на 0,33%, снижение уровня общего холестерина на 1,9%, повышение концентрации липопротеидов высокой плотности на 8,2%, снижение концентрации липопротеидов низкой плотности на 2,5%, снижение

концентрации триглицеридов на 5,7%, снижение коэффициента атерогенности на 6,3%.

**Теоретическая и практическая значимость.** Обоснованы рецептурные соотношения биологически активных масел (зародышей пшеницы, семян льна, чиа, рыжика, конопли, горчицы, грецкого ореха, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза, абрикоса и винограда), эмульгаторов (СОМ, яичного порошка и белка, соевого лецитина), стабилизаторов структуры (гуаровой и ксантановой камедей) в рецептурах пробиотических эмульсий с концентрацией биоактивных масел до 50%.

Определены технологические режимы производства новых пробиотических молочно-растительных эмульсионных продуктов (напитков, соусов, паст) с концентрацией пробиотических микроорганизмов не менее  $10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup> устойчивых к синерезису и седиментации, с хранимостью не менее 21 дня.

Разработаны, апробированы на ряде предприятий и внедрены в условиях опытно-экспериментального производства НУПЦТИГ ВГУИТ технологии ассортимента пробиотических молочно-растительных эмульсионных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами.

Результаты работы внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлениям УГСН «Промышленная экология и биотехнологии». Экономический эффект производства пробиотических молочно-растительных эмульсий составляет 22,76 тыс. рублей на тонну продукта.

**Методы и методология исследования.** Методология диссертационного исследования базируется на известных естественнонаучных законах и опыте современной отечественной и зарубежной науки. Включая в себя общенаучные и специальные методы исследования, математические, физико-химические, биохимические, микробиологические.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

Структурные, фазовые, пробиотические, холестеринемические антигипоксантные свойства пробиотических молочно-растительных эмульсий биоактивных растительных масел.

Условия эмульгирования и повышения устойчивости эмульсий биоактивных масел в пробиотической кисломолочной среде, физико-химические и микробиологические свойства эмульсионных систем.

Модифицированные технологии пробиотических молочно-растительных эмульсий и функциональных продуктов с их применением, информационный банк потребительских свойств.

Результаты оценки влияния условий хранения эмульсий на количество активных клеток пробиотических микроорганизмов, синтез мик-

робных метаболитов, соотношение фракций влаги в продукте с различными энергиями связи.

**Степень достоверности исследований.** Основные результаты работы согласуются с данными современных источников информации по теме исследования, достоверность определяется требуемой повторностью экспериментов из серии опытов, статистической обработкой данных, широкой апробацией в научной печати. Результаты получены при использовании современных общенаучных и специальных методов исследования, включая математические, физико-химические, биохимические, микробиологические, гистоморфологические и токсикологические.

Экспериментальные исследования проводили в условиях НИЛ кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса ФГБОУ ВО «ВГУИТ», центра коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективными проектами» Воронежского государственного университета инженерных технологий, испытательной лаборатории СОЮЗ «Торгово-промышленная палата Воронежской области, Воронежского Областного клинического консультативно-диагностического центра Министерства здравоохранения РФ (г. Воронеж).

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в научных изданиях, доложены и обсуждены на международных, всероссийских семинарах и конференциях: «Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности» (Ставрополь, 2020); «Инновации в индустрии питания и сервисе» (Краснодар, 2020), «Международной научно-практической конференции по вопросам подготовки кадров для научного обеспечения развития АПК, включая ветеринарию» (Белгород, 2020); «Проблемы практической подготовки студентов» (Воронеж, 2020); «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2015, 2019, 2020); «Инновационное предпринимательство: теория и практика» (Воронеж, 2019); «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» (Воронеж, 2019); Региональная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Н5. Биотехнологии» (Конкурс проектов по программе УМНИК) (Воронеж, 2018), «Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания» (Воронеж, 2018); «Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Создание национальной системы управления качеством пищевой продукции» (Москва, 2016).

Разработанные синбиотические молочно-растительные эмульсии и функциональные продукты с их применением – напитки, соусы, протеиновые пасты, неоднократно были представлены на региональных, межрегиональных, всероссийских выставках, награждены дипломами: «90-летие ВГУИТ» (Воронеж, 2020), «Изобретения и инновации» (Воронеж, 2016-2020), «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2015-2020), «Здравоохранение» (Воронеж, 2016-2018), X Воронежский промышленный форум (Воронеж, 2017), «Идеаль» (Воронеж, 2015-2017), инвестиционный форум «Медицина успеха» (Могилев, 2016).

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует пунктам 3, 5, 6, 9, 10 паспорта специальности 05.18.07 – «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 26 научных работы, в т. ч. 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 2 статьи в журналах, включенных в базу данных Scopus, 3 статьи в изданиях РИНЦ, 1 монография и 11 тезисов докладов на конференциях разного уровня.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по основным результатам работы, списка используемых источников из 284 наименований, в том числе 174 на иностранных языках, приложений, представлена на 261 страницах машинописного текста, содержит 37 таблиц, 48 рисунков, 6 приложений на 86 страницах.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации,** автором лично проведен поиск и анализ информации по изучаемой проблеме, обоснован выбор направления исследований, осуществлена постановка и выполнение основной части экспериментов. Захаровой Н.А. исследован процесс эмульгирования биоактивных растительных масел в среде биомассы консорциумов пробиотических микроорганизмов на молочной основе, разработан рецептурный состав и технологии пробиотических эмульсий, и продуктов на их основе. Исследованы технологические, микробиологические, структурно-механические, физико-химические, функциональные свойства пробиотических эмульсий с биоактивными растительными маслами, проведен анализ и обобщены результаты исследований, проведена их статистическая и математическая обработка и интерпретация с позиций естественно-научных положений. Автором разработана техническая документация на новые молочно-растительные эмульсионные системы, проведена

работа по апробации и внедрению разработанных технологий в производство.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость выполненных исследований, изложены основные положения, представляемые к защите.

**В первой главе «Характеристика функциональных и биокорректирующих свойств масел из сырья отечественного происхождения»** на основании результатов патентно-информационного поиска систематизированы и обобщены современные тенденции развития технологий производства и практического применения биологически активных растительных масел - зародышей пшеницы, семян льна, чиа, рыжика, конопли, горчицы, грецкого ореха, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза, абрикоса и винограда. Проанализированы их состав и свойства, оценены потенциальные возможности их применения ликвидации дефицитов витаминов, обеспечения баланса ПНЖК, нормализации энергетического и липидного обменов, профилактики атеросклероза. Обобщены данные о роли продуктов-эубиотиков в превенции патологических состояний организма человека, показана актуальность расширения ассортимента пробиотических продуктов повышенной функциональности. Рассмотрены технологические аспекты получения эмульгированных пищевых систем. Оценены известные технические решения получения устойчивых эмульсий растительных масел в пробиотических молочных ферментированных системах с применением эмульгаторов и стабилизаторов структуры.

**Во второй главе «Организация эксперимента, объекты и методы исследований»** приведена структурно-логическая схема исследований (рисунок 1), описаны основные объекты, исследуемые показатели и методы их определения.

Объектами исследований являлись: растительные масла зародышей пшеницы, семян льна, чиа, рыжика, конопли, горчицы, грецкого ореха, кедрового ореха, косточек вишни, косточек арбуза, косточек абрикоса, косточек винограда, гороха, яичный порошок, яичный белок, лецитин, сухое обезжиренное молоко, ксантановая камедь, гуаровая камедь, консорциумы пробиотических микроорганизмов: № 1- *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*; № 2- *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*; № 3 – *Streptococcus thermophiles*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium adolescentis*.

tis; № 4 – *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium adolescentis* и кисломолочные системы с их применением, пробиотические эмульсии, функциональные продукты на основе разработанных эмульсий - десерты, напитки, пасты, кровь пациентов-добровольцев, употребляющих эмульсионные продукты различных возрастных групп – 16-24, 25-44 и 45-65 лет.

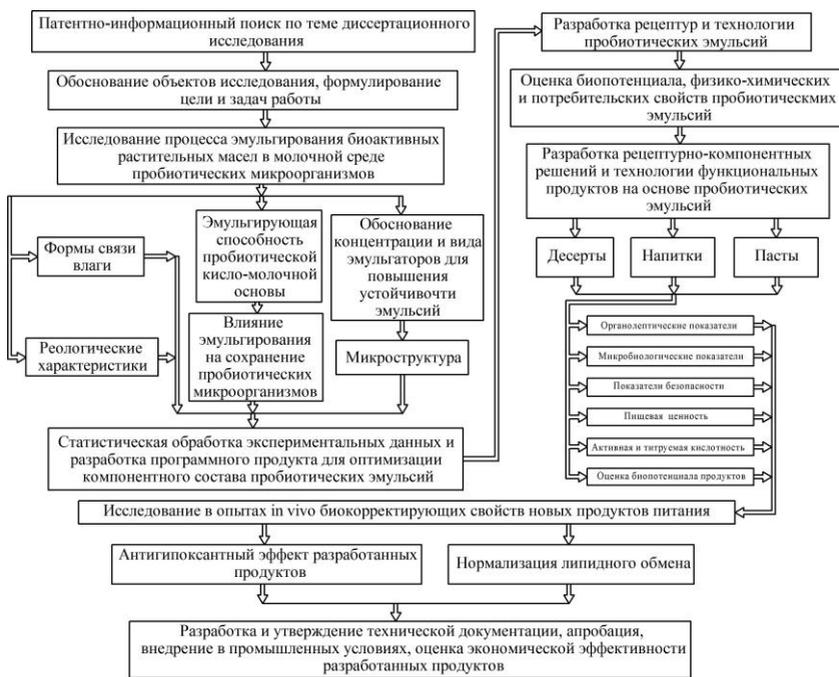


Рисунок 1 - Структурно-логическая схема исследований

Экспериментальные исследования и практические разработки реализованы в научно-учебно-производственном центре технологий индустрии гостеприимства, центре коллективного пользования «Контроля и управления энергоэффективными проектами» и научно-исследовательских лабораториях кафедр ФГБОУ ВО «ВГУИТ», ООО «Испытательной лаборатории Воронежского Облпотребсоюза», испытательной лаборатории Торгово-промышленной палаты Воронежской области, Воронежского Областного клинического консультативно-диагностического центра Министерства здравоохранения РФ.

С применением соответствующих ГОСТ и МУ в лабораторных и производственных условиях проводили отбор проб и подготовку их к анализу, определение температуры и массы продукта, массовой доли жира, белка, микробиологических показателей, титруемой и активной кислотности (рН), органолептических показателей продуктов. Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля, микроструктуру – методом электронной микроскопии, при совмещении с системой INGA Energy и электронного микроскопа JSM-6380LV. Формы связи влаги - термогравиметрическим методом с применением прибора синхронного термического анализа модели STA 449 F3 Jupiter. Исследование эмульгирующей способности (ЭС,%) опытных образцов проводили в соответствии с рекомендациями Антиповой Л.В. Основные реологические показатели пробиотических эмульсий определяли на ротационном вискозиметре «DV2T». В опытах *in vivo* содержание кислорода в крови ( $SpO_2$ ) определяли методом пульсоксиметрии; содержание углекислого газа ( $CO_2$ ) в выдыхаемой газовой фазе – с применением капнографа МДГ-1201; содержание общего холестерина (ОХ), холестерина ЛПВП, холестерина ЛПНП, триглицеридов (ТГ) в крови – аппаратным автоматическим методом на анализаторе Cobas 6000; коэффициент атерогенности – расчетным путем. Обработку экспериментальных данных на основе статистического и регрессионного анализа проводили с применением математического пакета MathCad. Графические зависимости реализованы в Компас-График и Microsoft Excel.

**В третьей главе «Обоснование режимов получения пробиотических эмульсий»** приведены результаты экспериментальных исследований процесса эмульгирования биоактивных масел в молочной среде пробиотических микроорганизмов.

На основе определения диапазонов эндотермических эффектов при термоллизе ферментированных консорциумами № 1-4 пробиотических систем, проведена оценка активности синтеза микробных метаболитов, обладающих эмульгирующими свойствами. С целью выявления влияния условий ферментации на синтез микробных метаболитов исследовали три режима: 1 - 38-41°C (оптимум, контроль), 10-12 ч, последующее охлаждение до 4-6°C; 2 - 47-48°C (выше оптимума), 5-6 ч, охлаждение до 38-41°C, 5-6 часов, последующее охлаждение до 4-6°C, 3 - 30-33°C (ниже оптимума), 5-6 часов, подогрев 38-41°C, продолжительность 5-6 ч, с последующим охлаждением до 4-6°C. Наблюдение активности синтеза влагосвязывающих веществ исследуемыми микроорганизмами при охлаждении и хранении биомассы (4-6°C в течение 24 ч) показало возрастание массы сухого остатка с 8,30 до 15,60%, увеличение доли связанной в различных формах влаги с 11,20% до 12,80%.

По увеличению фракции физико-химически связанной влаги, как критерия активности метаболизма лакто- и бифидобактерий, пробиотические эмульсионные среды располагались в следующем порядке: № 3, № 1, № 2, № 4. Наиболее активный синтез влагосвязывающих микробных метаболитов наблюдался при реализации второго режима.

Исследование процесса эмульгирования и свойств эмульсий с концентрацией до 50,0% масел зародышей пшеницы, семян льна, чиа, рыжика, конопли, горчицы, грецкого, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза, абрикоса, винограда в дисперсионной среде биомассы консорциума №4, показало наличие эмульгирующей способности (ЭС) биомассы пробиотических микроорганизмов на уровне 8,1-11,2% (рисунок 2), что в 2-2,7 раза выше, чем в контроле (2,2-4,1%).

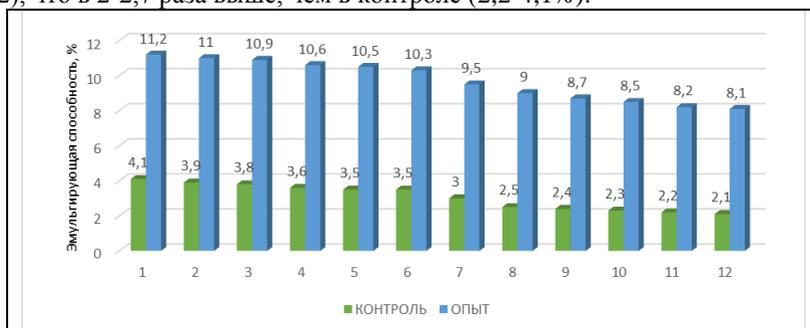


Рисунок 1 – Исследование ЭС (%) биомассы пробиотических микроорганизмов в отношении масел: 1- зародышей пшеницы, 2 - косточек абрикоса, 3 - кедрового ореха, 4 - семян конопли, 5 - семян арбуза, 6 - семян рыжика, 7 - косточек вишни, 8 - семян винограда, 9 - семян горчицы, 10 - семян чиа, 11 - семян льна, 12 - грецкого ореха

Дополнительное введение эмульгаторов и стабилизаторов структуры в пробиотические эмульсии (ПЭ) позволяет достичь повышения устойчивости эмульсий при концентрациях масла до 50 % (рисунок 3). В диапазоне концентраций масла 0,5-3,5% устойчивость эмульсий возросла в 1,1-5,9, 1,3-10,6, 1,5-4,0, 1,7-4,7, 1,3-9,7, 1,2-5,1 раза при введении в систему яичного белка, ксантановой камеди, яичного порошка, лецитина, гуаровой камеди, сухого обезжиренного молока соответственно. Установлены наиболее эффективные варианты взаимодействия «масло-эмульгатор-пробиотическая среда», определены концентрационные диапазоны эмульгаторов, разработаны рекомендации формирования устойчивых эмульсий для каждого из исследуемых масел в пробиотической эмульсионной среде. Исследование состояния влаги в новых эмульсиях доказало возрастание ее доли в физически и физико-химически связанных формах на 1,5 и 30,6%.

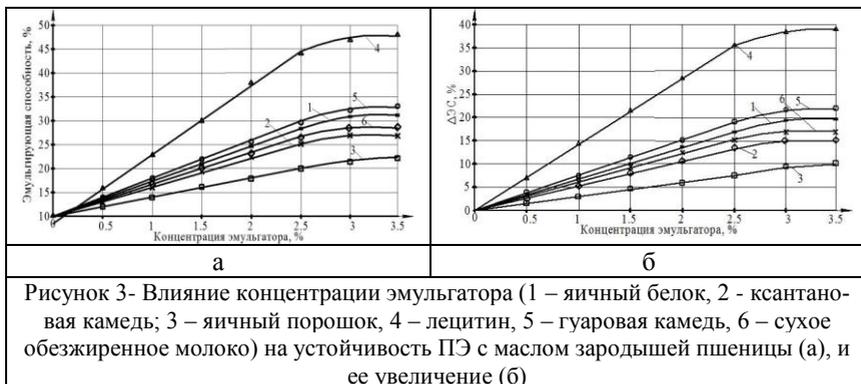


Рисунок 3- Влияние концентрации эмульгатора (1 – яичный белок, 2 – ксантановая камедь; 3 – яичный порошок, 4 – лецитин, 5 – гуаровая камедь, 6 – сухое обезжиренное молоко) на устойчивость ПЭ с маслом зародышей пшеницы (а), и ее увеличение (б)

Результаты микроскопических исследований продемонстрировали положительное влияние эмульгаторов на однородность и равномерность распределения липидной фракции по объему ПЭ.

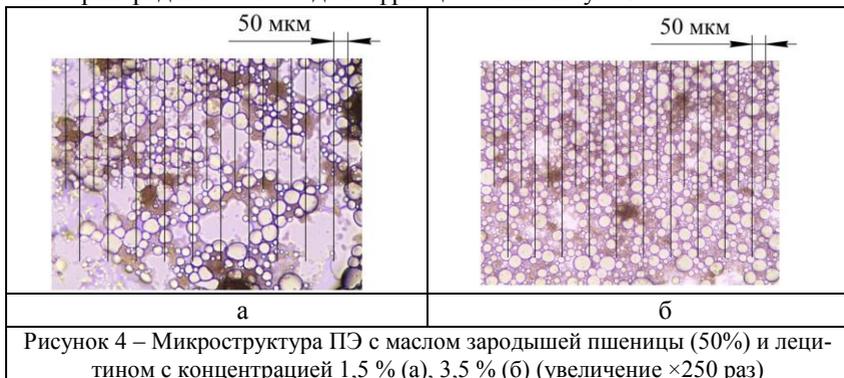


Рисунок 4 – Микроструктура ПЭ с маслом зародышей пшеницы (50%) и лецитином с концентрацией 1,5 % (а), 3,5 % (б) (увеличение  $\times 250$  раз)

Результаты микробиологических исследований доказывают сохранность активных клеток лакто- и бифидобактерий после гомогенизации при скорости вращения рабочего органа до 2000 об/мин: количество молочнокислых микроорганизмов варьируется в диапазоне  $1,10 - 1,35 \cdot 10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup>, бифидобактерий -  $1,60 - 1,84 \cdot 10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup>.

Метаболическая активность пробиотических микроорганизмов в гомогенизированных эмульсиях доказана нарастанием титруемой (до 120 °Т) и снижением активной кислотности (до 4,70 ед. рН) при их термостатировании при 38°C в течение 72 час.

Увеличение интенсивности воздействия свыше 2000 об/мин приводит к существенной потере метаболической активности и снижению концентрации активных клеток до  $10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>.

**В четвертой главе «Исследование биопотенциала и функционально-технологических свойств пробиотических эмульсий»** приведены результаты исследований химического состава, органолептической оценки, реологических свойств, процесса хранения разработанных ПЭ.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают наличие высокого биопотенциала разработанных ПЭ, как источников омега-3, корректоров микроэлементозов и авитаминозов в отношении железа, калия – ПЭ с маслом семян кедрового ореха; калия, фосфора, магния, марганца – ПЭ с маслом семян конопли; В<sub>3</sub>, В<sub>9</sub>, А, Е, Д – эмульсия с маслом зародышей пшеницы; В<sub>1</sub>, А, Е, Д – эмульсия с маслом семян кедрового ореха; В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, РР, Е, Д – эмульсия с маслом семян конопли.

ПЭ представляют собой однородные густые продукты, без разделения фракций масла и биомассы пробиотических микроорганизмов, запаха и вкус каждой эмульсии - сложный с преобладанием кисломолочного. Цвет ПЭ изменяется от традиционного молочного до различных оттенков бежевого, кремового и определяется цветом вводимого масла.

Исследование реологических характеристик позволяет отнести разработанные ПЭ к псевдопластическим системам. При градиенте скорости сдвига в диапазоне 0-

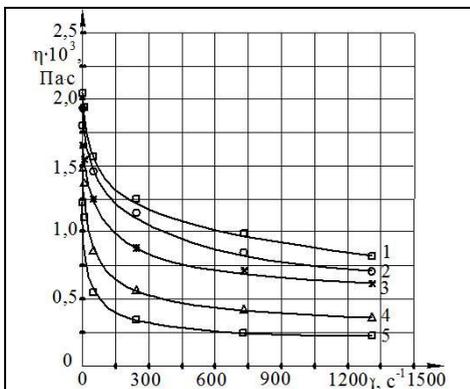


Рисунок 6 – Зависимость динамической вязкости ПЭ с маслом зародышей пшеницы от градиента скорости сдвига при температуре: 1 – 277 К, 2 – 286 К, 3 – 295 К; 4 – 304 К; 5 – 313 К

750  $\text{с}^{-1}$  ПЭ проявляют свойства неньютоновской жидкости с динамической вязкостью 0,51-2,76  $\cdot 10^{-3}$  Па·с, при повышении скорости сдвига до 1500  $\text{с}^{-1}$  ПЭ зафиксированы свойства ньютоновской жидкости с динамической вязкостью 0,47-1,26  $\cdot 10^{-3}$  Па·с (рисунок 6). Понижение температуры ПЭ с 313 до 277 К приводит к повышению значений динамической вязкости в 2,72 - 4,51 раза соответственно.

Разработанные ПЭ сохраняли стабильные показатели качества при хранении в течение 25 суток при температуре 4-6 $^{\circ}\text{C}$  при этом зафиксировано увеличение количества физико-химически связанной влаги в 1,17-1,22 раза, незначительное снижение активной кислотности (4,9-3,4 ед. рН), повышение титруемой кислотности в диапазоне 122-143 $^{\circ}\text{T}$ , сохранение 10 $^7$

КОЕ/см<sup>3</sup>. Высокая стабильность качественных и количественных показателей ПЭ при хранении без применения консервирующих агентов, обусловлена сохранением активности синтеза влагосвязывающих метаболитов пробиотическими микроорганизмами при данной концентрации КОЕ.

**В пятой главе «Разработка технологии производства пробиотических эмульсий и функциональных продуктов на их основе»** изложены результаты разработки рецептурно-компонентных решений, технологий производства ПЭ и функциональных пищевых продуктов на их основе: напитков, десертов, бутербродных паст, а также представлены экспериментальные данные, полученные в опытах *in vivo*, по оценке возможности положительной нутриентной коррекции энергообмена организма при введении в рацион разработанных ПЭ.

ПЭ с концентрацией масел 2,5-5% представляют собой кисломолочные пробиотические йогурты, с приятными органолептическими свойствами и могут быть рекомендованы к непосредственному употреблению в пищу. Эмульсионные пробиотические напитки - источник ПНЖК, витаминов, минералов, обладали высокими органолептическими показателями, сохраняли микробиологическую безопасность и однородную структуру в течение всего периода хранения.

Кроме того, ПЭ органолептически гармонично сочетаются с различными пряностями, фруктовыми конфитюрами, цукатами, орехами, семенами, сухофруктами, что позволяет применять их в технологиях широкого ассортимента напитков, десертов, бутербродных паст (таблица 1).

Таблица 1 – Рецептуры десертов на основе ПЭ

Наименование компонента	Содержание компонента, г/100		
	ПЭ с маслом семян чиа, 72 г «Био-чио-сан»	ПЭ с маслом семян льна, 88 г «Био-ленол»	ПЭ с маслом семян тыквы, 63 г «Био-тыквеол»
Семена чиа	5		
Джем из манго	12		
Желатин	4	4	
Вода питьевая	7	7	
Семена льна		7	
Яблочное пюре		20	
Тыквенное пюре			20
Корица			1
Семена тыквы			8
Пектин			7
Мускатный орех			1

Разработанные пробиотические эмульсионные десерты имели приятный вкус, аромат, нежную консистенцию, обладали высокой стабильностью показателей качества и безопасности в процессе хранения.

Полученные ПЭ с маслом зародышей пшеницы были апробированы в рецептуре протеиновой бутербродной пасты с включением муки зародышей пшеницы, гороховой муки и молока обезжиренного. Пробиотическая биопаста позволяет обогатить рацион цинком, железом, магнием, фосфором, витаминами В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, Е (удовлетворение суточной потребности организма при употреблении 100 г продукта варьируется в диапазоне 15,74-51,29 %). Разработанная биопаста может быть рекомендована для спортивного питания и при организации питания в лечебно-оздоровительных и санаторно-курортных организациях.

Проведена оценка антигипоксантных и гипохолестеринемических свойств ПЭ, фиксируемыми показателями-индикаторами изменения эффективности энергетического обмена являлись изменения состава выдыхаемой газовой среды - концентрации СО<sub>2</sub>, % на входе и выходе, уровень сатурации кислорода (SpO<sub>2</sub>), изменения биохимических показателей крови: концентрация триглицеридов (ТГ), общий холестерин (ОХ), концентрация липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), концентрация липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), коэффициент атерогенности (КА).

Экспериментально доказано, повышение антигипоксантного эффекта масла зародышей пшеницы в составе пробиотической эмульсии (рисунок 7), на выдохе отмечен рост концентрации СО<sub>2</sub> на 0,16%, SpO<sub>2</sub> на 0,08%, что относительно исходных значений возросло на 7,1 и 0,86% соответственно. По исследуемым возрастным группам синергия действия масел-биоокорректоров в комбинации с пробиотическими микроорганизмами составила - по повышению концентрации СО<sub>2</sub> - 0,10, 0,07 и 0,11%, по повышению SpO<sub>2</sub> - 0,05, 0,08 и 0,10% для 1-ой, 2-ой и 3-ей групп соответственно, что относительно исходных показателей составило 6,0, 5,14, 6,40 и 0,87, 0,75, 0,59% соответственно. Экспериментально доказана возможность активного алиментарного повышения эффективности газового обмена организма, а также синергетический эффект их комбинирования масла с пробиотическими микроорганизмами в активной форме.

Аналогичные результаты были получены по показателям липидного обмена, установлено, что эффективность МЗП в комплексе с биомассой пробиотических микроорганизмов возросла по снижению уровня ОХ на 1,9%, повышению концентрации ЛПВП на 8,2%, снижению концентрации ЛПНП на 2,5%, снижению концентрации ТГ на 5,7%, снижению КА на 6,3%. По возрастным группам синергия сочетанного действия масел-биоокорректоров и пробиотиков составила - по сниже-

нию ОХ – 2,4, 2,5 и 2,8%, повышению концентрации ЛПВП - 4,9, 7,6 и 9,6%, снижению концентрации ЛПНП – 2,7, 1,6 и 2,6%, снижению концентрации ТГ – 4,9, 4,3 и 8,0%, снижению КА - 4,9, 8,7 и 0,2% для 1-ой, 2-ой и 3-ей групп соответственно, что подтверждает более выраженные адаптогенные свойства ПЭ по сравнению с исходными биоактивными маслами.

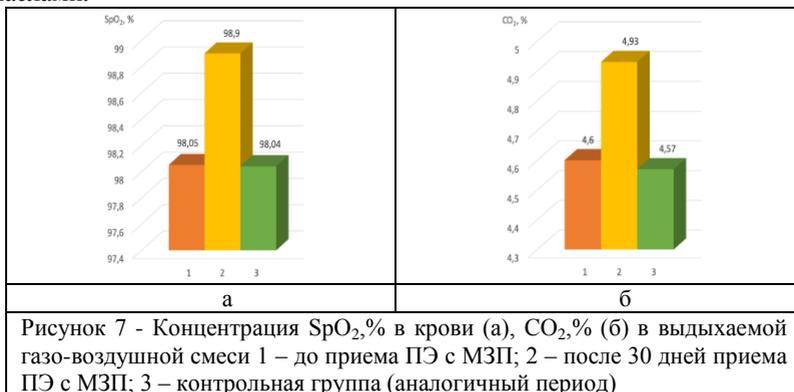


Рисунок 7 - Концентрация SpO<sub>2</sub>,% в крови (а), CO<sub>2</sub>,% (б) в выдыхаемой газо-воздушной смеси 1 – до приема ПЭ с МЗП; 2 – после 30 дней приема ПЭ с МЗП; 3 – контрольная группа (аналогичный период)

Разработанные технологии апробированы и внедрены в научно-учебно-производственном центре ВГУИТ, на ряде предприятий (ООО «Солнечный день», ООО «Белая лилия», ООО «Продукты долголетия», ООО «Тет-А-Тет», ИП Дорохина Е.В.), разработана техническая документация (СТО-02068108-001-2020 «Пробиотические эмульсии с биокорректирующими маслами»). Экономический эффект производства разработанных биопродуктов составляет 22,76 тыс. рублей на тонну продукта.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Научно обоснован выбор биоактивных растительных масел зародышей пшеницы, семян льна, семян чиа, семян рыжика, семян конопли, семян горчицы, грецкого ореха, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза, абрикоса и виноградных, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты, антиоксиданты, витамины А, D, E, группы В, железо, калий, цинк, марганец, магний, кальций, фосфор, селен.

2. Доказаны и оценены эмульгирующие свойства пробиотической кисломолочной основы с концентрацией 10<sup>9</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>.

3. Доказана возможность повышения устойчивости пробиотических эмульсий биоактивных масел с введением в систему 3,0-3,5% яичного белка для масел зародышей пшеницы, семян льна, чиа, горчицы, кедрового ореха, косточек вишни, арбуза; 2,5-3,5% соевого лецитина для масел зародышей пшеницы, семян рыжика, конопли, кедрового ореха, косточек арбуза, абрикоса; 3,0-3,5% яичного порошка для масел ко-

сточек арбуза, семян винограда; 2,5-3,5% СОМ для масел семян льна, конопли, косточек вишни, арбуза, семян винограда; 2,5-3,5% гуаровой камеди и 2,0-3,0% ксантановой камеди для масел зародышей пшеницы, семян льна, рыжика, конопли, горчицы, кедрового ореха, винограда, косточек арбуза, абрикоса.

4. Установлен, режим эмульгирования, обеспечивающий сохранение концентрации КОЕ/см<sup>3</sup> пробиотиков не ниже 10<sup>7</sup>, в процессе хранения эмульсий при 4-6°С в течение 14 показатели микробиологической безопасности пробиотических эмульсий находились в требуемых пределах значений.

5. Установлено, что в диапазоне скоростей сдвига до 750 с<sup>-1</sup> пробиотические эмульсии проявляют свойства псевдопластичных систем с индексом течения 0,16-0,32, при возрастании скорости сдвига до 1500 с<sup>-1</sup> – эмульсии демонстрируют свойства ньютоновских жидкостей с вязкостью 0,47-1,26•10<sup>-3</sup> Па·с, понижение температуры с 313 до 277 К повышает вязкость систем до 2,05-2,75•10<sup>-3</sup> Па·с.

6. Выявлена метаболическая активность консорциумов пробиотических микроорганизмов в процессе хранения эмульсий при 4-6°С, в результате которой установлено снижение фракций свободной влаги с 5,17 до 2,95%, осмотически связанной влаги с 20,12 до 16,83% и повышение фракций физико-химически связанной влаги с 8,51 до 10,63%.

7. Разработаны рецептуры пробиотических эмульсионных фруктовых и ягодных напитков с маслом зародышей пшеницы, косточек винограда, абрикоса вишни, арбуза, кедрового ореха, в концентрации 3-5%, десертов – с маслом семян тыквы, льна, чиа в концентрации 5-8%, протеиновой пасты с маслом зародышей пшеницы в концентрации 20-25%.

8. Выявлено увеличение антигипоксантных и гипохолестеринемических свойств ПЭ относительно исходного МЗП, при употреблении 15,0 г эмульсии в день установлено повышение уровня оксигенации гемоглобина крови на 0,85%, увеличение концентрации углекислого газа в выдыхаемой газовой среде на 0,33%, снижение уровня ОХ на 1,9%, повышение концентрации ЛПВП на 8,2%, снижение концентрации ЛПНП на 2,5%, снижение концентрации ТГ на 5,7%, снижение коэффициента атерогенности на 6,3%.

Рецептуры и технологии апробированы в производственных условиях НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ», ООО «Солнечный день», ООО «Белая лилия», ООО «Продукты долголетия», ООО «Тет-А-Тет», ИП Дорохина Е.В., разработана техническая документация СТО, ТИ, ТТК на новые продукты, экономический эффект составляет 22,76 тыс. рублей на тонну продукта.

**Список наиболее значимых работ,  
опубликованных по материалам диссертации.**

**Статьи в журналах, рецензируемых ВАК Минобрнауки РФ**

1. Новые синбиотические пищевые системы для профилактического питания / Т.В. Алексеева, Л.О. Ряскина, А.А. Родионов, Н.В. Сафонова, **Н.А. Пастухова (Захарова)** // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. - 2016. - № 4 (352). - С. 44-47 (0,25 п.л.; лично соискателем – 0,05 п.л.).

2. Родионова, Н.С. Оценка маркетингового потенциала синбиотических продуктов с биоактивными растительными компонентами/ Н.С. Родионова, И.П. Щетилина, **Н.А. Родионова (Захарова)** // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2018, Т. 80. - № 2 (76). - С. 150-157 (0,5 п.л.; лично соискателем – 0,16 п.л.).

3. Пробиотические напитки с биоактивными растительными компонентами / Н.С. Родионова, К.К. Полянский, Е.С. Попов, **Н.А. Родионова (Захарова)**, В.А. Брыжатый // Молочная промышленность.- 2019.- № 12. – С. 28-30 (0,18 п.л.; лично соискателем – 0,03 п.л.).

4. Экзополисахаридная активность пробиотических микроорганизмов при разных режимах ферментации / Н.С. Родионова, Т.А. Разинкова, К.К. Полянский, Е.С. Попов, **Н.А. Родионова (Захарова)**, К.Ю. Зарубина, А.А. Аклуц // Молочная промышленность.-2020.- № 4. – С. 10-12 (0,18 п.л.; лично соискателем – 0,02 п.л.).

**Статьи в зарубежных журналах, входящих в базу  
цитирования Scopus**

5. Impact of mechanical activation on the prebiotic properties of plant biological resources/ N.S. Rodionova, E.S. Popov, V.Yu. Kustov, A.A. Rodionov, **N.A. Rodionova (Zakharova)**, A.A. Dyakov // International Journal of Civil Engineering and Technology.-2019. – Vol. 10. – Issue 01. – pp. 1718-1730 (0,75 п.л.; лично соискателем – 0,12 п.л.).

6. Impact assessment of alimentary biological correctors on the energy efficiency of nutritional status / N.S. Rodionova, E.S. Popov, A.A. Khitrov, N.A. Rodionova (**Zakharova**), E.I. Egorova // TCHE Quimica Journal. – 2020.- Vol. 17. – No 36. – pp. 720-734. (0,87 п.л.; лично соискателем – 0,17 п.л.).

**Монографии**

7. Питание. Энергия. Энтропия / А.Б. Вишняков, Н.С. Родионова, В.А. Исаев, Е.С. Попов, Е.В. Белокурова, **Н.А. Родионова (Захарова)**, Е.А. Интересова // Изд-во Воронеж. гос. ун-т. инж. технол., Воронеж, 2020.- 214 с (6,65 п.л.; лично соискателем – 0,95).

### Статьи и материалы конференций

8. Попов, Е.С. Синтез экзополисахаридов консорциумом лакто- и бифидобактерий в молочной среде обогащенной биологически активными веществами растительного сырья / Е.С. Попов, А.А. Родионов, **Н.А. Родионова (Захарова)** // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания». – Омск: Омский ГАУ, 2018. – С. 75-77 (0,09 п.л.; лично соискателем – 0,03 п.л.).

9. Родионова, Н.С. Эмульгирующие свойства пробиотических систем, обогащенных растительными биокорректорами / Н.С. Родионова, Е.С. Попов, **Н.А. Родионова (Захарова)**// Актуальная биотехнология. - 2019. - № 3. -С. 313 (0,18 п.л.; лично соискателем – 0,06 п.л.).

10. Родионова, Н.А. Характеристика эмульгаторов для получения пробиотических наноэмульсий / **Н.А. Родионова (Захарова)** // Материалы студенческой научной конференции за 2019 год: В 2 ч. Ч. I.; под ред. О.С. Корнеевой. – Воронеж : ВГУИТ, 2019. – С. 95-96 (0,06 п.л.; лично соискателем – 0,03 п.л.).

11. Исследование процесса эмульгирования биоактивных масел в молочной среде пробиотических микроорганизмов / **Н.А. Захарова**, Е.С. Попов, И.А. Ефременко, В.А. Шолин, Е.С. Болдырева // Сборник материалов международной научно-практической конференции по вопросам подготовки кадров для научного обеспечения развития АПК, включая ветеринарию.- Белгород: НИУ «БелГУ», 2020. - С. 276-277 (0,06 п.л.; лично соискателем – 0,01 п.л.).

12. Оценка технологических свойств и биопотенциала новых синбиотических пищевых систем / Н.С. Родионова, Е.С. Попов, **Н.А. Захарова**, И.А. Ефременко // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности».- Краснодар: СКФУ, 2020. – С. 94-97 (0,12 п.л.; лично соискателем – 0,03 п.л.).

Подписано в печать 18.12.2020. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ .

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии

394036, Воронеж, пр. Революции, 19