



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
(КемГУ)

650000, Кемерово, ул. Красная, 6
Телефон: 8(3842) 58-12-26. Факс: 8(3842) 58-38-85
E-mail: rector@kemsu.ru, <http://www.kemsu.ru>

« 18 » мая 2026 г № 5/н

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
доктор технических наук, доктор
биологических наук, профессор,
академик РАН





18 » мая 2026 г

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кемеровский государственный университет» (КемГУ)

на диссертационную работу Буркова Ивана Александровича на тему:
«Совершенствование технологии сублимационной сушки заквасочных культур для
кисломолочных продуктов», представленной на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 4.3.3 Пищевые системы
(технические науки).

Актуальность темы диссертационной работы

Обеспечение длительной сохранности жизнеспособности и нативных свойств заквасочных микроорганизмов является одной из ключевых задач при производстве заквасок для молочной промышленности. Сублимационная сушка (лиофилизация) признана наиболее предпочтительным промышленным методом длительного хранения микробных культур благодаря удобству транспортировки, низким затратам на хранение и возможности сохранения жизнеспособности клеток до 35 лет. Однако, как справедливо отмечает автор в литературном обзоре, многие аспекты сублимационной сушки заквасок остаются эмпирическими, а оптимальные технологические параметры носят штаммоспецифический характер. Особую остроту этой проблеме придаёт высокая зависимость отечественного рынка заквасок от импорта (доля российских производителей составляет 10–20 %) и необходимость импортозамещения в рамках Стратегии научно-технологического развития РФ и Доктрины продовольственной безопасности.

Диссертационная работа Буркова И.А., направленная на совершенствование параметров сублимационной сушки (режимы предварительного замораживания, температура полки, давление в камере) для консорциума *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, органично вписывается в решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности и воспроизводимости отечественного производства сухих заквасок. Работа

выполнена в соответствии с приоритетами развития пищевой промышленности РФ и имеет высокую практическую значимость для молочной отрасли.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Представленные в диссертационной работе научные положения являются обоснованными, что подтверждается значительным объёмом теоретической базы, включающим анализ 148 источников отечественной и зарубежной литературы по вопросам сублимационной сушки, теплофизики процессов замораживания, криопротекции и реологии молочнокислых культур. Методологический подход, основанный на последовательной реализации этапов от анализа литературных данных и разработки экспериментального стенда с автоматизированной регистрацией параметров до проведения вычислительного эксперимента в ANSYS CFX и опытно-промышленной апробации, обеспечивает системный характер работы и высокую воспроизводимость результатов.

Достоверность экспериментальных данных обусловлена использованием автором современных сертифицированных методик (ГОСТ 33951-2016, ГОСТ 32901-2014, ГОСТ 29246-91 и др.), многократной повторностью опытов (3–5-кратная), а также применением оригинального аппаратно-программного комплекса с Wi-Fi-мониторингом температуры и давления. Статистическая обработка результатов выполнена с использованием адекватных математических методов. Экспериментальные данные хорошо коррелируют с результатами численного моделирования: расхождение температурных кривых при валидации модели не превышает 5 %, что подтверждает адекватность разработанной CFD-модели.

Научная новизна диссертации и личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Диссертационная работа Буркова И.А. содержит ряд новых научных результатов, имеющих существенное значение для развития технологии сублимационной сушки заквасочных культур. Впервые экспериментально установлены оптимальные технологические параметры сублимационной сушки консорциума *S. thermophilus* и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*: предварительное замораживание до минус 30 °С (независимо от скорости охлаждения), температура полки 20 °С (обеспечивает высокую скорость сушки без снижения выживаемости), давление в камере 60–100 Па (оптимальный компромисс между скоростью процесса и энергозатратами). Показано, что дальнейшее понижение температуры замораживания до минус 70 °С не повышает, а снижает выживаемость, причём быстрое иммерсионное охлаждение при экстремальных температурах приводит к большему повреждению клеток, чем медленное.

Автором разработана и верифицирована численная модель процесса предварительного замораживания суспензии с учётом её теплофизических свойств, позволяющая получить распределение температур во всём объёме продукта. На основе этой модели проведено масштабирование процесса от лабораторных пробирок до промышленных поддонов; показано, что комбинированное (конвективно-кондуктивное) охлаждение сокращает время замораживания в 2–2,5 раза по сравнению с чисто конвективным. Установлено, что добавление

дополнительных криопротекторов (глицерина или желатозы) в концентрациях 2,5–10 % не приводит к значимому увеличению выживаемости (которая и без них превышает 70 %), однако несколько повышает активность закваски (сокращая время сквашивания на 10–15 %).

Личный вклад соискателя является определяющим. Автором самостоятельно проведён анализ научной литературы, разработаны программа и схема исследований, создан экспериментальный стенд с микроконтроллерным управлением и Wi-Fi-интерфейсом, выполнены экспериментальные исследования влияния режимов замораживания, температуры полки, давления и криопротекторов на выживаемость культур. Самостоятельно проведено численное моделирование теплообмена в ANSYS CFX, валидация модели и расчёты для промышленных условий. Автором лично подготовлено и внедрено Изменение № 1 в Технологическую инструкцию по производству заквасок (ТИ ТУ 10.89.19-098-00419785-2023), а также проведена опытно-промышленная апробация с получением актов внедрения.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа и автореферат Буркова Ивана Александровича по форме и содержанию полностью соответствуют требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям (пп. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции). Представленное исследование является завершённой научно-квалификационной работой, обладающей теоретической и практической значимостью для молочной промышленности. В диссертации содержится решение научной задачи, имеющее существенное значение для развития отрасли, включая новые научные положения и результаты их практической реализации.

Структура работы (введение, обзор литературы, методология исследований, три главы результатов, заключение, список литературы из 148 источников, шесть приложений) отражает логику проведённого исследования и соответствует паспорту научной специальности 4.3.3 – Пищевые системы. Автореферат адекватно воспроизводит основное содержание диссертации; в нём представлены все необходимые разделы: актуальность, научная новизна, практическая значимость, методология, положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и публикациях.

Количество и качество публикаций соискателя удовлетворяют установленным критериям: по теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них 3 статьи в журналах перечня ВАК РФ, 3 статьи в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, 7 статей в РИНЦ, а также получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты исследования прошли достаточную апробацию на 7 международных и всероссийских конференциях, что подтверждено материалами автореферата.

Оценка содержания диссертации и её завершенность

Диссертационная работа Буркова И.А. имеет чёткую и логически выдержанную структуру, полностью соответствующую цели и поставленным

задачам исследования. Диссертация изложена на 128 страницах, содержит 17 таблиц, 26 рисунков и 6 приложений. Библиографический список состоит из 148 источников отечественной и зарубежной литературы.

Во введении обоснована актуальность перехода к сублимационной сушке заквасочных культур, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен систематизированный анализ научно-технической литературы по способам хранения заквасок, физико-технологическим основам сублимационной сушки, факторам выживаемости молочнокислых культур. Показано, что оптимальные параметры процесса носят штаммоспецифический характер и требуют экспериментального обоснования. Выявлены основные ограничения существующих технологий.

Во второй главе описаны объекты и методы исследования, представлена схема проведения экспериментов. Подробно изложена разработка экспериментального стенда для сублимационной сушки малых объёмов (вакуумная камера с конденсатором, нагреваемая полка, система датчиков, микроконтроллер с Wi-Fi-управлением). Приведены методики подготовки образцов, проведения сублимации, а также стандартизованные и оригинальные методы оценки выживаемости, активности и качества заквасок.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований. Установлено, что оптимальным режимом предварительного замораживания является охлаждение до минус 30 °С (независимо от скорости). Показано, что консорциум культур проявляет более высокую устойчивость, чем монокультуры. Определено, что температура полки 20 °С обеспечивает высокую скорость сушки без снижения выживаемости, а давление в диапазоне 60–100 Па не влияет на сохранность клеток, но существенно снижает энергозатраты (до 30 %). Дополнительные криопротекторы не дают значимого защитного эффекта.

В четвёртой главе разработана и валидирована численная модель процесса замораживания. Сравнение расчётных и экспериментальных температурных кривых показало расхождение не более 5 %. Проведено моделирование замораживания в промышленных поддонах при различных толщинах слоя и режимах теплообмена (конвективном, комбинированном, в вакууме). Показано, что комбинированное охлаждение сокращает время замораживания в 2–2,5 раза по сравнению с конвективным.

В пятой главе представлены результаты опытно-промышленной апробации усовершенствованных режимов сублимационной сушки на установке ТГ-50. Установлено, что применение разработанных режимов без добавления криопротекторов позволяет получить сухую закваску с содержанием жизнеспособных $7,0 \cdot 10^9$ КОЕ/г, что на 40 % выше, чем при использовании традиционных режимов ($5,0 \cdot 10^9$ КОЕ/г). Введение в состав защитной среды глицерина (2,5 %) или желатозы (5,0 %) не приводит к дополнительному увеличению выживаемости, но вызывает повышение гигроскопичности продукта (массовая доля влаги возрастает до 5,02–5,18 %) и склонность к комкованию, что ухудшает его технологические свойства.

После трёх месяцев хранения сухих заквасок при температуре минус 30 °С проведена выработка опытных партий Мечниковской простокваши. Показано, что продукт, полученный с использованием закваски, высушенной по усовершенствованным режимам (образец Э), по органолептическим показателям,

динамике кислотообразования и физико-химическим характеристикам не уступает продукту, выработанному на свежеприготовленной жидкой закваске. Разработано и внедрено Изменение № 1 в Технологическую инструкцию по производству заквасок.

В заключении сформулированы восемь выводов, полностью соответствующих поставленным задачам.

Таким образом, диссертация Буркова И.А. представляет собой завершённое научное исследование, логически выстроенное и содержащее все необходимые элементы.

Вопросы, замечания и пожелания по диссертационной работе

По результатам анализа диссертационной работы выявлены следующие вопросы, замечания и пожелания:

1. В таблице 3.3 диссертации (стр. 54) приведены данные по выживаемости *S. thermophilus* после замораживания и сушки. Для протоколов № 1–5 и № 7 значения выживаемости после замораживания составляют 35,7 %, а после сушки – 44,0 % (относительно уже сниженного количества), что даёт итоговую выживаемость 15,7 %. Однако в протоколе № 6 (быстрое охлаждение до минус 70 °С) выживаемость после замораживания составляет 10,0 %, а после сушки – 35,7 %, что даёт итоговую 3,6 %. Почему в протоколе № 6 относительная выживаемость на этапе сушки оказалась ниже (35,7 % против 44,0 % в других протоколах), хотя абсолютное количество клеток после сушки ($2,5 \cdot 10^8$ КОЕ/г) такое же, как и в других протоколах? Требуется пояснение методики расчёта процентов.

2. На стр. 60–61 диссертации и на рисунке 3.4 (автореферат, стр. 11) приведена зависимость выживаемости консорциума от температуры полки. Указано, что при 20 °С выживаемость составляет около 71 %. Однако в таблице 5.3 (стр. 90 диссертации) для образца Э (высушенного по экспериментальным режимам, включая температуру полки 20 °С) количество молочнокислых бактерий составляет $7,0 \cdot 10^9$ КОЕ/г, что при исходном контроле консорциума $7,0 \cdot 10^9$ КОЕ/г даёт выживаемость 100 %, а не 71 %. Противоречие, вероятно, связано с тем, что в главе 3 использовался другой контроль (после замораживания без сушки). Просим пояснить, как соотносится выживаемость 71 % в оптимизационных экспериментах и 100 % в опытно-промышленной апробации.

3. В главе 4 (стр. 83–86) представлены результаты численного моделирования замораживания поддонов с суспензией. На рисунках 4.6–4.8 показаны температурные кривые для толщин слоя от 4 до 14 мм. Однако в таблице 7 автореферата (стр. 17) приведены расчётные времена замораживания для разных толщин и режимов, но не указано, какая конечная температура принималась за целевую (минус 30 °С или другая). Кроме того, не пояснено, учитывалась ли в модели скрытая теплота кристаллизации (в таблице 6 автореферата приведён скачок теплоёмкости в диапазоне от минус 10 до минус 0,5 °С, что соответствует учёту теплоты через эффективную теплоёмкость). Каков порядок погрешности такого подхода по сравнению с прямым моделированием фазового перехода?

4. Учитывая высокую практическую значимость разработанной численной модели и её успешную валидацию, целесообразно в дальнейшем расширить область применения модели для прогнозирования режимов замораживания других типов заквасочных культур (например, мезофильных

лактококков, бифидобактерий) с различными теплофизическими свойствами. Также было бы полезно создать инженерную методику (калькулятор) для расчёта времени замораживания в промышленных поддонах в зависимости от толщины слоя и режима охлаждения.

Поставленные вопросы и замечания не снижают научной и практической ценности выполненной работы и носят дискуссионный характер.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Буркова Ивана Александровича на тему «Совершенствование технологии сублимационной сушки заквасочных культур для кисломолочных продуктов» по своему содержанию, научной новизне, объёму выполненных исследований, практической значимости и оформлению соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, а ее автор, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3 Пищевые системы.

Отзыв подготовлен заведующей кафедрой технологии продуктов питания животного происхождения ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», доктором технических наук, профессором Курбановой Мариной Геннадьевной.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры технологии продуктов питания животного происхождения Технологического института пищевой промышленности ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Присутствовало на заседании кафедры 11 чел. В обсуждении приняли участие 3 чел. Результаты голосования: «за» - 11 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 12 от «16» мая 2026 г.

Заведующая кафедрой, д.т.н., профессор,
шифр специальности: 05.18.04 Технология
мясных, молочных и рыбных продуктов и
холодильных производств»

 М.Г. Курбанова

Контактные данные

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», Технологический институт пищевой промышленности.

Адрес: 650000, Кемеровская обл. – Кузбасс,

г. Кемерово, ул. Красная, д. 6.

Веб-сайт: <https://kemsu.ru>

Email: tppgs@kemsu.ru,

Телефон: +7(3842)39-68-58

