

В диссертационный совет
24.1.515.01 на базе ФГАНУ
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
молочной промышленности»,
115093, г. Москва, ул.
Люсиновская, д.35, корп. 7

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Бредихина Сергея Алексеевича на диссертационную работу Архипова Данилы Сергеевича на тему: «Моделирование и разработка 3D-печатного комбинированного продукта на молочной основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 4.3.3 Пищевые системы (технические науки)

Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнения, т.к. она посвящена и связана с обеспечением населения качественными пищевыми продуктами. Автором сформулированы в работе задачи, посвящённые применению аддитивной технологии и они последовательно решены в ходе исследований. Преимуществами аддитивных технологий являются возможность создания продуктов уникальной и сложной геометрической формы, высокая точность печати и использование широкого спектра материалов. Основная сложность при создании 3D-чернил на молочной основе заключается в обеспечении текучей и одновременно быстро застывающей структуры, что требует научно обоснованного подбора компонентов.

Актуальность тематики диссертационного исследования подтверждается разработкой в последние годы ряда нормативных документов, направленных на развитие аддитивных технологий в Российской Федерации, включая: Стратегию развития аддитивных технологий в РФ на период до 2030 года (распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 г. №1913-р), Приказ Минпросвещения РФ от 08.11.2023 г. №835 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 15.02.09 Аддитивные технологии» и др.

Степень обоснованности научных положений, рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечена постановкой целей и задач диссертационного исследования Архипова Д.С. обусловлена анализом

отечественной и зарубежной научной литературы. Автором выполнена теоретическая проработка вопросов, связанных с получением многокомпонентных систем на молочной основе, адаптированных для использования в технологиях 3D-печати.

Научная обоснованность положений и выводов диссертации подкрепляется значительным объемом корректно спланированных и тщательно выполненных экспериментальных исследований.

Заключения, сформулированные диссертантом, логически следуют из содержания основного текста работы и полностью соответствуют поставленным задачам.

Достоверность и научная новизна исследований, полученных результатов и выводов диссертации обеспечена значительным объёмом экспериментальных данных, полученных с применением современных методических подходов и инструментальных методов. Объем выполненной работы позволил соискателю обосновать научные положения, выносимые на защиту; основные результаты и выводы, сформулированные в диссертации, являются логическим следствием полученных итогов проведенной работы

Подтверждением служат апробация результатов на ряде научных конференций различного уровня, успешные испытания в производственных условиях, а также публикации в рецензируемых научных журналах.

Научная новизна диссертационной работы Архипова Д.С. заключается в разработке методики проектирования и принципа моделирования 3D-продукта на молочной основе во взаимосвязи со свойствами его компонентов, также в корректировке G-кода и внесения соответствующей команды в профессиональное программное обеспечение для подготовки 3D-моделей к печати для разрабатываемой аддитивной технологии плавленого сыра с начинкой.

Анализ содержания работы. Диссертационная работа Архипова Д.С. состоит из введения, трёх глав, основных результатов и выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Материал диссертации изложен на 122 страницах. Иллюстративный материал представлен 64 рисунками и 14 таблицами. Список литературы содержит 101 наименование, включая как отечественные, так и зарубежные источники. В приложении представлены результаты практической значимости работы.

Введение диссертации содержит обоснование актуальности выбранной тематики, а также анализ степени её разработанности в отечественной и зарубежной литературе. Автором сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость выполненной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Также во введении приведены сведения о степени достоверности полученных результатов и их апробации на научных конференциях и в производственных условиях.

Первая глава содержит аналитический обзор, подтверждающий актуальность разработки аддитивных технологий применительно к молочной промышленности. Рассмотрены перспективы развития 3D-печати в пищевой промышленности, проанализированы свойства молочных продуктов и их компонентов как сырья для получения пищевых чернил. Особое внимание уделено факторам, влияющим на качество 3D-печати, а также основным технологиям аддитивного производства. Отмечено, что, несмотря на успешное применение 3D-печати в ряде пищевых отраслей, использование молочных систем в данной области ограничено и недостаточно изучено. В связи с нехваткой систематизированных данных обоснована необходимость дальнейших исследований для разработки рецептур пищевых чернил на молочной основе и создания стабильных 3D-печатных продуктов с привлекательными потребительскими свойствами.

Во второй главе изложена организация проведения научных экспериментов, представлена схема исследований, отражающая последовательность выполнения работ. Приведены объекты исследований, перечень оборудования и методы, применяемые соискателем в процессе выполнения работы. Автор использует как стандартные методы анализа (определение массовой доли жира, белка, сухих веществ, кислотности), так и адаптированные методики.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований на основе разработанной методики проектирования 3D-модели кубической формы и её трансформации в управляющий G-код с последующей корректировкой для оптимизации процесса печати. Путём варьирования состава получены образцы, так называемых «пищевых чернил» с использованием сухого обезжиренного и сухого цельного молока, исследованы зависимости коэффициента спонтанной деформации от массовой доли белка. На основе функции желательности Харрингтона определены оптимальные диапазоны массовой доли белка продукта. Представлены результаты органолептической оценки образцов продукта. Экспериментально исследованы прочностные характеристики образцов продукта на сдвиг, сжатие и растяжение. Разработана модель взаимосвязи геометрических характеристик и упруго-пластичных свойств материала, реализованная в виде программы для ЭВМ.

Кроме того, представлены разработанные технологическая схема получения 3D-продукта и технические условия на продукт «ПринтЧиз», с рекомендуемым сроком годности (5 суток). Приведён расчёт экономической эффективности.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке рецептуры и аддитивной технологии сыра плавленого «ПринтЧиз» (ТУ 10.51.40-111-00419785-2025), создании программа для ЭВМ, позволяющей рассчитывать рациональные геометрические размеры 3D-изделий в зависимости от упруго-пластичных свойств материала. Программа имеет государственную регистрацию.

Разработанная аддитивная технология прошла апробацию на предприятии ООО «ГСК ФУД» с 20 октября 2025 г. по 28 ноября 2025 г. Выполненный экономический расчёт показал, что частичная замена персонала 3D-принтером FELIX Food Switch Head обеспечивает срок окупаемости оборудования менее 8 месяцев.

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены и обсуждены на научно-практических конференциях различного уровня, в том числе с международным участием.

По материалам диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, из которых 4 статьи в рецензируемых научных журналах, включённых в перечень ВАК РФ, 2 статьи в сборниках материалов конференций и журналах, индексируемых в РИНЦ, а также 1 монография и 1 программа для ЭВМ, зарегистрированная в установленном порядке.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основные результаты проведённых исследований и содержание диссертации.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Что такое термин «пищевые чернила». Имеется ли разрешение использования «пищевых чернил» как пищевого продукта?

2. Используется ли понятие «HoReCa» в отечественной технической и нормативной документации, а также в реальном секторе экономики? В соответствии с какой классификацией отечественных предприятий используется предприятия HoReCa? В технической документации на пищевые продукты в РФ термин HoReCa может упоминаться в контексте маркировки продукции.

3. В чём заключается методология проектирования 3D модели (раздел 3.3) и методология расчета модели пищевого 3D-продукта? Может быть это точнее будет методика проектирования 3D модели?

4. Что означает термин «трансформационные особенности структурно-механических свойств сырья»?

5. Какой фазовый переход имеет место при конструировании основы продукта (глава 3 текста диссертации)?

6. Что означает «биоинформационное» программное обеспечение» (п. 2 положения, выносимые на защиту).

11. Проводилась ли оценка деформаций, возникающих в материале (с. 16-17 автореферата) и что понимает автор под предельным напряжением? (с. 21 автореферата)?

12. Отдельные подрисуночные подписи в автореферате и рукописи диссертации сформулированы некорректно, например рисунок 5 в автореферате – Моделирование влияния массовой доли белка в ПЧ на $K_{сд}$, а изображена - Зависимость коэффициента спонтанной деформации от массовой доли белка и другие подрисуночные подписи.

Однако, указанные замечания не снижают научной и практической значимости рассматриваемой диссертационной работы. Содержание диссертации соответствует названию темы и поставленным задачам.

Заключение. Представленная диссертационная работа Архипова Данилы Сергеевича на тему «Моделирование и разработка 3D-печатного комбинированного продукта на молочной основе» является законченной научно-квалификационной работой соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в последней редакции), а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3 Пищевые системы (пищевые системы).

Официальный оппонент:
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры процессов
и аппаратов перерабатывающих
производств ФГБОУ ВО
«Российский государственный
аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»



С.А. Бредихин

Адрес: 127550, г. Москва, ул. Лиственничная аллея, 4а, корпус № 1
Телефон: +7 (499) 977-92-73
E-mail: sbredihin_kpia@rgau-msha.ru

