

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Копейкина Романа Евгеньевича на диссертацию Шибанова Эдуарда Дмитриевича «Автоматизированная система контроля и управления технологическим процессом пищевой 3D печати шоколадом с использованием системы технического зрения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Актуальность темы исследования

Диссертация Шибанова Э.Д. посвящена решению актуальной научно-технической задачи в области пищевых аддитивных технологий. Особенностью работы является всестороннее изучение технологического процесса пищевой 3D печати шоколадных изделий с точки зрения его автоматизации. Основная задача заключалась в создании датчиков визуальной оценки состояния нанесённого сырья, что позволило контролировать и адаптивно влиять на процесс печати сложными по своей структуре пищевыми массами. Учитывая, что пищевая 3D печать имеет потенциал для приготовления персонализированного питания, и то, что за последнее десятилетие интерес к пищевой 3D печати стабильно растет – решение задач автоматизированного контроля качества, получаемых на 3D принтерах блюд, является актуальной задачей.

В работе решены следующие основные задачи:

1. Исследован и проанализирован технологический процесс пищевой 3D печати шоколадных изделий, рассмотрены проблемы управления, а также дана характеристика основных стадий рассматриваемого технологического процесса (ТП).
2. Разработана функционально-структурная схема влияния параметров технологическим процессом пищевой 3D печати шоколадом на органолептические показатели качества готового блюда.
3. Разработана лабораторная установка для пищевой 3D печати шоколадом, с целью проведения практических экспериментов и детального исследования процесса трёхмерной печати шоколадных изделий.
4. Проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса пищевой 3D печати шоколадом, проведена математическая обработка полученных результатов, а также предложена классификация возникающих дефектов.

5. Разработаны алгоритмы и методы автоматизированного контроля органолептических показателей качества технологического процесса (внешний вид) на примере пищевой 3D печати шоколадом в режиме реального времени в стационарных условиях с помощью системы технического зрения (СТЗ).
6. Разработана модель адаптивной системы принятия управленческих решений для ТП пищевой 3D печати на основе рекуррентной нейронной сети.
7. Предложен способ интеграции интеллектуального датчика в пищевую 3D принтер. Разработано программное обеспечение для осуществления автоматизированной системы контроля и управления (АСКУ) ТП пищевой 3D печати шоколадом.

Структура диссертации

Структурно диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка используемых сокращений, списка литературы и приложений.

Во введении приведена актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приводятся научная новизна и теоретическая значимость, практическая значимость, выносимые на защиту положения и сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе приведены основные принципы работы устройств для 3D печати, проведён анализ технологии пищевой 3D печати шоколадом, а также выделены главные операции выбранного ТП. Рассмотрено понятие качества печатаемого объекта, определены факторы, влияющие на конечный результат печати. Разработаны функционально-структурные схемы влияния факторов на качество печатаемого блюда, и определены точки контроля. Обоснована необходимость автоматизированного контроля за процессом пищевой 3D печати шоколадных изделий. Проведён обзор существующих систем автоматизированного визуального контроля, применяемых на производствах, а также в 3D печати.

Во второй главе был проведён анализ существующих экструдеров для пищевой 3D печати, отмечены их достоинства и недостатки, а также была разработана лабораторная установка для проведения экспериментов и изучения технологического процесса пищевой 3D печати шоколадом. Проведены практические эксперименты и распечатаны образцы из шоколадной глазури. Проведена математическая обработка результатов печати и построена корреляционная матрица взаимосвязи наиболее важных параметров печати. Проведена классификация дефектов 3D печати

тонкостенных шоколадных фигур, а также проанализированы причины их возникновения.

В третьей главе разработана группа алгоритмов и методов автоматизированного визуального контроля состояния печати. Для этого используется метод сравнения объекта с эталоном. Первый алгоритм позволяет обнаружить глобальные дефекты печати (отсутствие подачи, перегрев модели и т.д.). Второй алгоритм позволяет оптимизировать скорость нанесения материала в зависимости от его состояния. Третий модуль позволяет находить поверхностные дефекты на печатаемом изделии. Совокупность предложенных алгоритмов позволяет проводить комплексный контроль геометрии печатаемого блюда.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке системы принятия решений. Была предложена схема нейрорегулятора, способного анализировать параметры печати текущего слоя, и на их основании прогнозировать оптимальные параметры печати для следующего слоя.

В пятой главе рассмотрены элементы программной реализации, а также представлена архитектура всего программно-аппаратного комплекса.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации, и сформулированы выводы по работе в целом.

В приложениях приведены акты о внедрении результатов работы на производство и в учебный процесс.

Научная новизна

К наиболее существенным научным результатам, полученным в диссертации и обладающим научной новизной, можно отнести:

1. Разработанную автором функционально-структурную схему (ФСС) формирования качества получаемого блюда в процессе пищевой 3D печати шоколадом с указанием факторов, влияющих на органолептические показатели качества.

2. Проведённые экспериментальные исследования технологического процесса пищевой 3D печати шоколадных фигур, позволившие выявить основные типы возникающих дефектов, на основе чего была предложена их классификация, а также был проведён анализ причин их возникновения.

3. Предложенный автором алгоритм оптимизации скорости выращивания трёхмерного изделия, основанный на проведении визуальной оценки состояния шоколада в процессе печати.

4. Разработанная адаптивная система управления параметрами пищевой ТП 3D печати с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и системы технического зрения (СТЗ).

Полученные результаты соответствуют паспорту специальности 2.3.3

– Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки), пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «3. Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.», «4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами», «6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами», «11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия», «12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

Практическая значимость

Практическая значимость результатов работы заключается в следующем:

1. Разработанный метод автоматизированной визуальной оценки состояния сырья, в процессе 3D печати, позволяет оптимизировать скорость нанесения материала.

2. Разработан интеллектуальный датчик визуального контроля органолептических показателей качества (внешний вид, форма, цвет, целостность) в режиме реального времени с применением нейросетевых технологий, помогающий распознавать внештатное протекание ТП, классифицировать дефекты и выявить брак.

3. Предложена автоматизированная система коррекции управляющих параметров ТП пищевой 3D печати шоколадом в режиме реального времени на основе рекуррентной нейронной сети, применение которой позволит контролировать протекание технологического процесса пищевой 3D печати шоколадом, позволяющая сократить время присутствия оператора.

4. Разработана база данных АСКУ ТП пищевой 3D печати шоколадом, использование которой позволяет собирать и накапливать информацию обо всех результатах печати, с целью дальнейшего изучения и анализа.

5. Разработано программное обеспечение интеллектуальной автоматизированной системы управления технологическим процессом пищевой 3D печати.

6. Осуществлен подбор технических средств для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления органолептическими показателями качества в процессе пищевой 3D печати шоколадных десертов. Данные решения могут быть адаптированы и использованы для применения с другими пищевыми ингредиентами.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы, апробация и публикации

Достоверность и обоснованность полученных теоретических и практических результатов научного исследования обеспечиваются применением классических положений и формализованных методов теории автоматизированного управления, тщательным анализом исследуемого ТП, математической постановкой решаемых задач, практическими экспериментами, а также результатами, полученными на основе методов, описанных другими авторами.

Результаты работы достаточно полно опубликованы в 10 работах автора, 4 из которых – статьи в журналах входящих в перечень ВАК РФ. Результаты неоднократно докладывались на научно-технических конференциях всероссийского и международного уровней.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации не рассмотрены методики оценки качества 3D печати шоколадом без применения нейросетевых технологий.

2. Иногда, встречаются не совсем корректные формулировки, например на стр.31 «Форма изделий контролируется человеком условно, так как измерить съедобный объект не представляется возможным».

3. В четвёртой главе (стр.106) рассмотрены понятия степень и температура обдува модели. Однако при разработке лабораторной установки упоминаний о системе охлаждения не было.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы автора.

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертация соискателя Шибанова Эдуарда Дмитриевича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, направленную на решение актуальной научной задачи в области разработки и исследования методов контроля за технологическим процессом 3D печати и имеющей значение для развития научного направления пищевых аддитивных технологий. Диссертация обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты. Автореферат диссертации полностью и правильно отражает ее содержание. Представленная диссертационная работа соответствует пунктам 2, 3, 4, 6, 11, 12 паспорта специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Диссертационная работа «Автоматизированная система контроля и управления технологическим процессом пищевой 3D печати шоколадом с использованием системы технического зрения» соответствует требованиям п. 9 – 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 18.03.2023 г.), а её автор, Шибанов Эдуард Дмитриевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Официальный оппонент:

Копейкин Роман Евгеньевич



«15» ноября 2023 г.

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Автономные информационные и управляющие системы»

факультета «Специальное Машиностроение» научно-учебного комплекса

«Специальное Машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Почтовый адрес: РФ, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

Телефон: +7-917-528-06-12

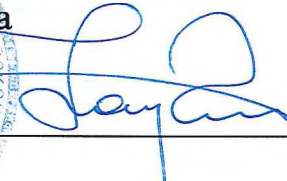
E-mail: rkopeykin@bmstu.ru

Подпись Копейкина Романа Евгеньевича заверяю

руководитель научно-учебного комплекса

«Специальное Машиностроение»

МГТУ им. Н.Э. Баумана



В.Т. Калугин