

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

доктор биологических наук,
профессор



О.С. Корнеева

« 08 » ноября 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ») – о диссертационной работе Никитиной Марины Александровны «Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) и 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств, представляемый в диссертационный совет Д 212.148.02, созданный на базе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

На отзыв представлены диссертация и автореферат.

Актуальность темы диссертационной работы. Российская академия наук отмечает феномен появления нового научного направления «Цифровая нутрициология», предусматривающего цифровую трансформацию данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов, а также создание компьютерных программ для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию. Появилась объективная необходимость в формировании этого научного направления, поэтому постановлением Президиума Российской академии наук от 27 ноября 2018 г. № 178 «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» (п. 11) ученым поручено выполнить эту задачу. Реализация этого научного направления имеет важное медико-социальное значение, способствуя обеспечению высокого качества жизни, ее продолжительности, существенно снижая экономические потери страны, обусловленные последствиями алиментарно-зависимых заболеваний, связанных с потерей трудоспособности. Также появляется все больше данных о потенциале питания снижать, и даже предотвращать, риск возникновения неинфекционных заболеваний.

В этой связи, применение высоких технологий позволит не только оценить фактическое питание и сформировать «паспорт здоровья», но и сформировать индивидуально подобранный рацион с учетом физиологических показателей, физической и психологической нагрузки, наличия хронических заболеваний, экологических условий, привычек и образа жизни; осуществить контроль и наблюдение за всеми жизненными циклами моделирования пищевого продукта с применением технологии «цифрового двойника»; осуществлять контроль незаявленных компонентов в сырье с использованием нейросетевых технологий.

Диссертационная работа Никитиной М.А., включающая оценку потенциала интероперабельности и алгоритмизации задач оптимального питания; теоретическое обоснование и практическую реализацию поставленных задач, разработку аналитического и программно-технического инструментария объективизации контроля качества пищевых продуктов, компонентов и рационов, является актуальной и своевременной.

Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и достоверность результатов исследований. Достоверность и обоснованность теоретических выводов и практических результатов, полученных в работе, подтверждается корректным использованием методов исследования, результатами апробирования разработанных алгоритмов на общедоступных данных, публикацией научных трудов, а также сравнительным анализом результатов с известными результатами современных исследований и разработок.

Результаты исследований отмечены дипломами, сертификатами и медалями Российской агропромышленной выставки «Золотая осень 2016, 2018», XIX Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» (2016).

Отдельные этапы работ были выполнены при поддержке Российского Научного фонда (грант РНФ № 16-16-10073П); Фонда инфраструктурных и образовательных программ в части разработки дополнительной профессиональной образовательной программы повышения квалификации по теме «Выявление фальсификации состава продуктов молекулярно-генетическими методами» (Договор №037.18.001/01 от 11.07.2018); в рамках Госзадания по плану научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 – 2020 годы.

Основные научные результаты и положения диссертационной работы Никитиной М.А. опубликованы в 115 работах, в том числе: 41 статья в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 25 статей в международных изданиях, входящих в наукометрические базы данных Web of Science и Scopus, 1 учебник, 1 учебное пособие, 1 монография, 1 патент РФ, 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных. Основные результаты и выводы работы апробированы, обсуждены и

доложены в период с 2002 по 2021 год на симпозиумах, круглых столах, международных, региональных и всероссийских научно-практических конференциях.

Научная новизна работы. Представленные в работе результаты исследований Никитиной М.А. являются оригинальными, имеющими несомненное научное и практическое значение. Научная новизна исследований очевидна и заключается в следующем.

Автором определены направления цифровизации, создания и применения человеко-машинных систем с рациональным разделением функций (вычислительные - машина, принятие решений - человек) связанные с цифровой трансформацией «моделей» питания(автоматизация процессов с минимизацией участия человека), созданием новых продуктов и рационов, современных решений в мониторинге и управлении качеством продукции.

Разработаны концептуальные схемы группирования пищевых продуктов и блюд по различным признакам с применением методов и алгоритмов кластерного анализа. Кластеризация продуктов по различным категориям позволяет формировать взаимозаменяемые списки блюд с размерами порций или списки разрешенных и неразрешенных продуктов с точки зрения различных заболеваний и индивидуальных особенностей метаболизма.

Разработан пошаговый алгоритм создания «цифровых двойников» - имитационных моделей пищевого продукта для анализа пищевой, биологической и энергетической ценности и др. характеристик продукта перед запуском его в производство. Применение виртуальной имитационной модели позволит в режиме реально времени реагировать на изменения в физико-химическом составе используемого сырья или замене основного, или вспомогательного сырья, и в соответствии с этим корректировать рецептуру для получения продукта с заданным химическим составом и гарантированным качеством.

Предложены структурно-параметрическое описание и агентно-ориентированная модель пищеварительной системы человека, отражающая динамику усваивания элементов пищевой и биологической ценности продуктов. Биохимические процессы в подсистемах желудочно-кишечного тракта описываются субстрат-ферментативными реакциями расщепления элементов пищевой ценности и позволяют оптимизировать компонентный состав и структуру рациона питания человека с учетом его физиологического состояния.

Практическая значимость подтверждается разработанными диссертантом следующими программными продуктами: «Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных»; «Компьютерная программа по статистической обработке экспериментальных данных»; «Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных

продуктов»; «Подсистема статистического обеспечения биологических исследований» SSS BIO (Subsystem Statistical Support for Biological Research); «Конструктор рецептур».

Разработана база данных «Пищевые продукты», электронный учебник «Микроструктура мяса и мясных продуктов».

Получен патент на «Способ производства функционального продукта».

Разработано автоматизированное рабочее место дегустатора, обеспечивающее поддержку и объективизацию принимаемых им решений, где обработка информации выполняется разработанной «Программой по сбору и статистической обработке сенсорных данных».

Результаты работы используются при проведении лекционных и практических занятий магистров в рамках учебного процесса по направлению подготовки «Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения» ФГБОУ ВО МГУПП.

Общая характеристика диссертационной работы. Представленная работа построена по традиционному принципу и состоит из введения, обзора литературных источников, обоснования основных направлений исследований, результатов собственных исследований и их обсуждения, а также выводов и приложений.

Основной текст работы изложен на 233 страницах, диссертация иллюстрирована 60 рисунками, 30 таблицами, список цитируемой литературы включает 176 наименований, в том числе 102 иностранных авторов. В приложениях содержатся материалы, подтверждающие научные и практические результаты работы.

Во введении обоснована актуальность работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены основные тенденции и направления цифровой трансформации применительно к формированию рецептур и продуктов здорового питания, применения цифровых технологий в системах поддержки принятия решений при использовании методов исследований с высоким риском субъективизации результата. Проведенный анализ позволил обосновать цель и задачи исследования, а также сформулировать концепцию работы, состоящую в обосновании возможности цифровизации технологических и нутрициологических задач с учетом физиологических особенностей человека и пищевой адекватности питания в применении цифровой трансформации путем соединения высоких технологий пищевых систем и здоровья потребителя.

Во второй главе рассмотрены возможности ИТ-решений применительно к частным технологиям. Представлена система комплексной информационной поддержки производства пищевого продукта с заданными составом и свойствами. Систему комплексной поддержки питания рассматривается с позиций процессного подхода как единая цепь взаимосвязанных операций от

выбора сырья и ингредиентов до рациона питания, где структурная оптимизация рациона питания; включение дополнительных продуктов с определенными характеристиками; проектирование индивидуального продукта с расчетом показателей нутриентной адекватности; оценка незаявленных компонентов рассматриваются как управляющее воздействие на процесс.

В третьей главе изложена методология выполнения работы и ее организация, включая последовательную реализацию всех ее этапов, приведена информация о программном обеспечении, языках программирования, применяемых алгоритмах и математических методах.

В четвертой главе приведены результаты разработки структуры 1) база данных «Пищевые продукты» о химическом составе компонентов продуктов и блюд; 2) база знаний о сочетаемом эффекте нутриентов, позволяющие реализовать индивидуальный подбор рациона питания потребителя с учетом особенностей его метаболизма. Показана структуризация информации в разработанных базах данных. Представлен диалоговый алгоритм структурно-параметрической оптимизации питания независимо от его назначения – общее, функциональное, здоровое, персонализированное. Приведены концептуальные схемы группирования пищевых продуктов и блюд по различным признакам с применением методов и алгоритмов кластерного анализа для упрощения и объективизации формирования взаимозаменяемых списков блюд с размерами порций или списков разрешенных и неразрешенных продуктов при различных заболеваниях. На примере качественной оценки сбалансированности аминокислот показана работа компьютерной подсистемы «Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов».

В пятой главе приведены результаты построения пошагового алгоритма создания «цифровых двойников» - имитационных моделей продуктов общего и специализированного питания. Приведены примеры разработки «цифровых двойников» пищевого продукта, технологического процесса, показана возможность анализа в режиме реально времени изменений пищевой, биологической и энергетической ценности и др. характеристик продукта. Виртуальная имитационная модель позволяет реагировать на изменения в физико-химическом составе используемого сырья или замене основного, или вспомогательного сырья, и в соответствии с этим корректировать рецептуру для получения продукта с заданным химическим составом и гарантированным качеством.

В шестой главе показано использование нейросетевых технологий для контроля состава пищевых продуктов, выявления фальсификаций и повышения объективности полученных результатов. Представлена разметка цифровых снимков гистологических срезов для получения репрезентативной выборки DataSet гистологических срезов мясного сырья, необходимой для цифровизации процесса качественной и количественной оценки гистологических препаратов, для устранения (избежания) «идеализации»

полученных результатов. Для этого используется потенциал искусственной нейронной сети. Показана архитектура сверточной нейронной сети (CNN) с двумя слоями свертки (Convolutional, C-Layer) и пулинга (подвыборки) (Subsampling, S-Layer), которые чередуются друг за другом.

Для оптимизации аппроксимации полихромного изображения (гистологического среза) предложено использовать генетический алгоритм, который позволил сформировать оптимальную особь (палитру изображения), максимально отображающей оттенки окраски образца. В предложенном диссертантом алгоритме каждый ген содержит трехмерный вектор, содержащий числа в диапазоне от 0 до 255, которые соответствуют составляющим цвета в формате RGB.

В *седьмой главе* показаны возможности применения имитационного моделирования физиологических процессов усваивания пищи. Для обеспечения возможности изучения переваривания пищевых компонентов и усваивания их желудочно-кишечным трактом (ЖКТ) разработан цифровой двойник ЖКТ. ЖКТ человека в концепции имитационного моделирования рассматривается, как естественный биохимический реактор, обеспечивающий гидролиз пищевых веществ (белков, жиров, углеводов) их транспортировку и всасывание продуктов гидролиза через стенки кишечника в кровь. При моделировании учитывается множество переменных состояния человека, его пищеварительной системы и рациона питания.

Представлена мультиагентная модель ЖКТ, разработанная в имитационной среде Simplex 3 на языке SimplexMDL, позволяющая описывать динамику усвоения пищевых продуктов и рационов. Работоспособность изложенной методологии и алгоритма была реализована на ряде вычислительных экспериментов. В результате получены временные графики биохимических процессов расщепления и транспортировки биохимических элементов пищевой ценности рациона питания человека.

В *восьмой главе* приведен разработанный программный комплекс с архитектурой «клиент-сервер» для повышения интероперабельности процедуры органолептической оценки объективизации анализа ее результатов. Показана оценка согласованности мнений экспертов-дегустаторов, а также дескрипторов, являющихся значимыми для потребителей и входящих в комплексный "идеальный портрет" продукта. Показано составление вкусо-ароматических профилей продуктов питания по результатам дегустации профильным методом. Максимальный объем информации, обрабатываемый в единицу машинного времени, массив данных размером 6×15×20 (6 – количество продуктов, 15 – количество исследуемых дескрипторов, 20 – количество дегустаторов).

Представленные выводы и рекомендации надлежащим образом обоснованы и представляются убедительными. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы и отражает все необходимые положения в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Диссертационная работа соответствует пунктам 2, 4, 6, 9 паспорта специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) и пунктам 4, 5 паспорта специальности 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств.

Таким образом, основные положения работы подтверждены результатами проведенных исследований и получили развернутое и содержательное обоснование в тексте диссертации. Основные результаты и выводы соответствуют цели и задачам исследования, анализу полученных данных, приведенных в работе.

Диссертационная работа Никитиной Марины Александровны на тему «Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств» имеет внутреннее единство изложения, представленные в работе результаты являются оригинальными и перспективными для науки и производства.

Замечания по работе. По результатам анализа диссертационной работы и автореферата диссертации в порядке дискуссии имеются вопросы, замечания и пожелания:

1. Из текста диссертации (глава 4, раздел 4.1) не ясно каким образом выбиралось количество кластеров? как выбирались центры кластеров?

2. Автор в диссертационной работе (глава 6, раздел 6.2) использует для построения сверточной нейронной сети (CNN) функцию активации ReLU и метод обратного распространения ошибки, не поясняя чем вызван данный выбор.

3. Соискатель для построения мультиагентной модели пищеварительной системы (глава 7, раздел 7.2) использует универсальную имитационную среду Simplex 3, однако в последнее время лидирующим инструментом имитационного моделирования является AnyLogic.

4. В главе 8 для объективной оценки и анализа результатов дегустации желательно ввести поправочные коэффициенты влияния эксперта и коэффициенты значимости каждого дескриптора.

5. В тексте диссертации в Приложении не приведена рабочая программа дисциплины по направлению подготовки «Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения» ФГБОУ ВО МГУПП, в которую внедрены результаты исследований соискателя.

6. В тексте диссертации и автореферата присутствует ряд некорректных лингвистических и терминологических выражений.

Отмеченные частные замечания не носят принципиального характера и не снижают теоретическую и практическую ценность выполненной Никитиной Мариной Александровной работы.

Заключение. Диссертационная работа «Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств» соответствует требованиям пп. 9 - 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013. № 842 (вред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а ее автор, Никитина Марина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) и 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» - протокол № 3 от 25.10.2021 г.

Отзыв подготовлен:

Зав.каф. информационных и
управляющих систем, д.т.н., профессор

Хаустов
Игорь Анатольевич

Сведения об университете:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;

Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19;

Телефон: +7 (473)255-42-67;

Электронная почта: post@vsuet.ru