

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора, член-корреспондента РАН Просекова Александра Юрьевича на диссертационную работу 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

### Актуальность темы выполненной работы

Обеспечение здоровья населения страны – одно из приоритетных направлений деятельности Государства. В пункте 11 Постановления Президиума РАН № 178 от 27 ноября 2018 «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» отмечено, что необходимо формирование 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 ЭВМ программ для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию.

Для сохранения здоровья и повышения качества жизни требуется решение вопроса оптимизации питания, соответствующего потребностям и возможностям организма человека и сбалансированного по всем показателям пищевой и биологической ценности. Это, в первую очередь, связано с цифровизацией и трансформацией модели здорового питания, созданию новых продуктов и рационов, а также современных решений в управлении качеством продуктов. Разработка современных систем поддержки принятия решений, в состав которых входят Big Data (большие массивы баз данных и знаний о предметной области). В них содержится информация, отражающая выбор индивидуальных рационов и режимов питания с учетом возрастных факторов, физиологического состояния, медико-биологических требований, региональных условий, особенностей потребления пищи, а также источника нарушения иммунного статуса.

В этой связи диссертационная работа Никитиной Марины Александровны, посвященная определению направлений цифровой

трансформации, теоретического обоснования создания и применения человекомашинных систем и процессов при решении задач пищевых систем, включая формирование заданного состава продуктов и рационов питания, а также возможности цифровизации методов контроля качества, отличающихся высоким риском субъективного решения, является актуальной и своевременной, и представляет несомненный научный интерес.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Диссертация Никитиной М.А. основывается на концепциях и положениях, изложенных в работах отечественных и зарубежных ученых в области теории моделирования продуктов питания, методов системного анализа, моделирования, разработки состава и технологии продуктов детского, школьного, диетического, геродиетического, функционального и специализированных продуктов питания. Задачи, поставленные в рамках исследования, были решены на основе методов математического моделирования, методов анализа данных и машинного обучения, теории принятия решений, методов объектно-ориентированного анализа и программирования, теории баз данных.

Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается большим объемом экспериментальных исследований, проведенных с использованием современных методов исследования.

Научные положения, выводы и практические предложения научно обоснованы и соответствуют представленным в диссертации материалам, что подтверждается публикациями в открытой печати и широким обсуждением на международных конференциях, симпозиумах и круглых столах.

### **Степень достоверности результатов**

Достоверность результатов работы подтверждается апробацией в печати (115 печатных работ, из них 1 учебник, 1 учебное пособие, 1 монография, 25 публикаций в изданиях, индексируемых международными базами данных WOS и Scopus, 41 публикация в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных, 1 патент РФ. Материалы диссертационной работы доложены и представлены на международных, региональных и всероссийских конференциях и симпозиумах.

**Научная новизна** исследований заключается в том, что:

- определены направления цифровизации, создания и применения человекомашинных 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 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 позволяют диетологам 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 реального 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.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Выполненные Никитиной М.А. исследования систематизированы, обобщены, адаптированы к пищевым продуктам и детализированы механизмы физиологического расщепления нутриентов в организме с использованием субстрат-ферментативных реакций Михаэлиса-Ментона. Показана возможность математического описания при оценке совместимости пищевых продуктов с физиологическими возможностями человека.

Никитиной М.А. разработаны следующие программные обеспечения: «Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных» (Свидетельство Роспатент № 2017663406 от 01.12.2017); «Компьютерная программа по статистической обработке экспериментальных данных» (Свидетельство Роспатент № 2017664268 от 19.12.2017); «Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов» (Свидетельство Роспатент № 2015660124 от 22.09.2015); «Подсистема статистического обеспечения биологических исследований» SSS BIO (Subsystem Statistical Support for Biological Research) (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2016613478 от 28.03.2016); «Конструктор рецептов» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2016616925 от 22.06.2016); база данных «Пищевые продукты» (Свидетельство Роспатент № 2015620557 от 30.03.2015); электронный

учебник «Микроструктура мяса и мясных продуктов» (Свидетельство Роспатент № 2020620238 от 10.02.2020); 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.

### **Соответствии диссертации и автореферата требованиям «Положения о присуждении ученых степеней»**

Диссертационная работа Никитиной М.А. выстроена логично и состоит из введения, аналитического обзора литературы, описания объектов исследования, методологии и методов исследования, пяти экспериментальных глав, выводов, списка литературы, приложения. Список использованных источников литературы включает 176 наименований, из которых 102 – иностранных. Приложения к диссертации содержат патенты, свидетельства, методические рекомендации и другие материалы, разработанные автором, подтверждающие научную новизну и практическую значимость результатов исследования.

Основное содержание работы изложено на 233 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков и 30 таблиц.

Автореферат включает 43 страницы, достаточно полно отражает содержание работы, реализацию задач для достижения цели, с логичным завершением представленными выводами. Содержание работы полностью отражено в публикациях автора.

Диссертация и автореферат по содержанию, структуре и объему соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

*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. Определены направления исследования, обоснована цель и определены задачи для ее достижения, а также сформулирована концепция работы.

**Во второй главе** рассмотрены возможности применения информационных технологий и цифровых подходов к системной оценке и комплексной поддержке принятия решений при конструировании пищевых рационов и объективизации методов контроля. Определены объекты исследования. Представлена система комплексной информационной

поддержки производства пищевого продукта с заданными составом и свойствами.

**В третьей главе** изложена методология выполнения работы и ее организация, включая последовательную реализацию всех ее этапов, приведена информация об использованном оборудовании, программном обеспечении, и применяемых математических методах.

**В четвертой главе** приведены результаты разработки подсистемы проектирования комбинированных продуктов питания, которая обеспечивает цифровую трансформацию таких технологических задач как проектирование рецептур, расчет количественных и качественных показателей проектируемого продукта, а именно расчет общего химического состава, пищевой, биологической и энергетической ценности. Информационной основой системы является разработанная база данных химического состава сырья, используемого в производстве комбинированных продуктов. Показана типологизация продуктов, кулинарных изделий и блюд по различным характеристикам в разработанных базах данных с целью группирования кластеров кулинарных блюд для питания людей с определенным типом заболевания. Представлены результаты машинного эксперимента составления рациона питания для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, рекомендуемых для студенческой столовой и рассчитанные на время пребывания студента в ВУЗе.

**В пятой главе** приведены алгоритмы построения «цифрового двойника» пищевого продукта и технологической операции. Представлены этапы создания цифрового двойника на примере мясного продукта антисклеротического действия. Разрабатывая «цифровой двойник» пищевого продукта перед запуском его в производство, можно проанализировать пищевую, биологическую и энергетическую ценность и др. характеристики продукта. Виртуальная имитационная модель позволит в режиме реального 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.

Представлен «цифровой двойник» технологической операции варки вареной колбасы на примере расчета термограмм тепловой обработки мясных изделий. Применение математического аппарата при проведении научно-исследовательских работ способствует не только более глубокому изучению процесса, установлению закономерностей и прогнозированию результатов, но и усилению объективизации процесса принятия обоснованных решений.

**В шестой главе** представлена цифровизация процесса качественной и количественной оценки гистологических препаратов, показана возможность устранения наиболее сложной части разрешения проблемной ситуации – избежание «идеализации» полученных результатов. Для этого используется потенциал искусственной нейронной сети. Показана структура и наполнение базы данных гистологических срезов. Для получения репрезентативной выборки DataSet гистологических срезов мясного сырья представлена

разметка цифровых снимков гистологических срезов, которые использовали в дальнейшем для тренировки и обучения нейронной сети. Выбрана архитектура сверточной нейронной сети (CNN) с двумя слоями свертки (Convolutional, C-Layer) и пулинга (подвыборки) (Subsampling, S-Layer), которые чередуются друг за другом. В качестве функции активации использовалась функция ReLU.

Представлен генетический алгоритм оптимизации аппроксимации полихромного изображения (гистологического среза). Алгоритм решает оптимизационную задачу поиска и позволяет сформировать оптимальную особь (палитру изображения). Каждая особь состоит из двух хромосом. В предложенном алгоритме каждый ген содержит трехмерный вектор, содержащий числа в диапазоне от 0 до 255, которые соответствуют составляющим цвета в формате RGB. Результатом каждой итерации генетического алгоритма является популяция, являющаяся набором особей.

Использование нейросетевых технологий для контроля состава пищевых продуктов к обработке и интерпретации информации облегчает и ускоряет процесс принятия решений. Это значительно ускоряет процесс выявления фальсификаций и повышает объективность полученных результатов.

**В седьмой главе** предложены структурно-параметрическое описание и агентно-ориентированная модель пищеварительной системы человека, отражающая динамику усваивания элементов пищевой и биологической ценности продуктов. Моделирование биохимических процессов желудочно-кишечного тракта позволяют оптимизировать компонентный состав и структуру рациона питания человека с учетом его физиологического состояния. Мультиагентная модель позволяет описывать динамику усвоения пищевых продуктов и рационов. Работоспособность изложенной методологии и алгоритма была реализована на ряде вычислительных экспериментов и в результате получили совокупность временных графиков биохимических процессов расщепления и транспортировки биохимических элементов пищевой ценности рациона питания человека, которые позволяют анализировать пищеварительные процессы в ЖКТ в ускоренном масштабе времени при конкретных условиях. Результат получаем в течение 1 с. по сравнению с аппаратом искусственного желудка Покровского А.А. и Ертанова И.Д. (продолжительность 1-2 дня) при погрешности менее 1,5%.

**В восьмой главе** приведен разработанный аналитический и программно-технический инструментарий с учетом предметных областей их использования и современных методов обработки массивов информации, направленных на повышение эффективности управленческих процессов, протекающими в системе. Разработанная программа по сбору и статистической обработке данных с архитектурой «клиент–сервер» в режиме on-line осуществляет обработку результатов дегустационной комиссии. Максимальный объем информации, обрабатываемый в единицу машинного времени, массив данных размером  $6 \times 15 \times 20$ , где соответственно 6 – количество продуктов, 15 – количество исследуемых дескрипторов, 20 – количество дегустаторов. Данные, получаемые в ходе автоматической обработки, являются максимально объективными и достоверными.

Исследование, выполненное Никитиной М.А., является самостоятельной законченной работой, представляющей теоретический и практический интерес. Автором на достаточно высоком научном уровне используются различные подходы и методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций, изучаются и критически анализируются известные достижения и теоретические положения других исследователей по разработке и оптимизации пищевых продуктов заданного состава и свойств.

Объем материала, подвергнутого анализу, методический уровень исследования вполне соответствует поставленным задачам, а полученные выводы достаточно полно аргументированы материалом экспериментальных исследований, рядом табличных данных, диаграмм.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с предъявленными требованиями, характеризуется логичностью и завершенностью исследований.

При общей положительной оценке имеются следующие замечания и пожелания по тексту диссертационной работы и автореферата.

1. Несогласованность использованных обозначений:

в формуле (4 – автореферат, 43 – диссертация)  $w$  – вес связи; в формуле (12 – автореферат, 79 – диссертация)  $w$  – ширина определяющей матрицы; в формуле (13 – автореферат, 80 – диссертация)  $w$  – знаковая функция; в формуле (37 – диссертация)  $w$  – коэффициент конкордации; в формуле (53 – диссертация)  $w$  – водосвязывающая способность компонента.

в формулах ((5)-(7) диссертация)  $N$  – число наблюдений пациента; в формуле (26, 32 – диссертация)  $n$  – число незаменимых аминокислот; в формулах ((36)-(40) – диссертация)  $n$  – число параметров; на стр. 24 (автореферат) и стр. 140 (диссертация)  $n$  – число точек разбиения по радиусу; стр. 142 (диссертация)  $n$  – число шагов по времени; в формуле (3 – автореферат, 66 – диссертация)  $n$  – число объединяемых показателей; в формулах ((75)-(77) – диссертация)  $n$  – слой нейрона.

2. В автореферате подпись к рис. 27 и в диссертации к рис. 56 дана некорректно  $df$  – это не степень свободы, а число степеней свободы.

3. Соискатель для подтверждения или отклонения нулевой гипотезы с заданной доверительной вероятностью использует критический интервал (стр. 37-38 в автореферате и стр. 204-205 диссертации), однако достаточно сравнить значения критериального параметра Фишера (меньше или больше расчетного параметра и теоретического, соответственно).

4. В диссертационной работе (формула 88, стр. 205) и в автореферате (формула 21, стр. 38) дано нестандартное обозначение коэффициента детерминации.

5. Автором в диссертационной работе (рис. 47-49, стр. 189-191) и в автореферате (рис. 23-25, стр. 36) не установлены соответствия между кривыми, а также не определены системы координат.

