

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ
ИМ. В.М. ГОРБАТОВА»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН)**

На правах рукописи

НИКИТИНА МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЗАДАННОГО
СОСТАВА И СВОЙСТВ**

Специальность 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (в пищевой промышленности)

Специальность 05.18.04 – технология мясных, молочных и рыбных
продуктов и холодильных производств

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научные консультанты:
доктор технических наук, профессор,
академик РАН, Лисицын А.Б.
доктор технических наук, профессор,
академик РАН, Чернуха И.М.

Москва -2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ – СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	14
Глава 2 ИТ-РЕШЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЧАСТНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ.....	50
Глава 3 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	56
Глава 4 ОЦЕНКА НУТРИЕНТНОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ. АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ВЫБОРА БЛЮД В РАЦИОН ПИТАНИЯ ИЛИ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ С УЧЕТОМ ТИПОЛОГИЗАЦИИ ПРИЗНАКОВ (КЛАСТЕРИЗАЦИЯ).....	91
4.1. Типологизация продуктов, кулинарных изделий и блюд по различным характеристикам.....	95
4.2. Расчет нутриентной сбалансированности поликомпонентных продуктов.....	111
Глава 5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ».....	119
Глава 6 АНАЛИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	149
6.1. Применение технологии машинного обучения к методам контроля (на примере анализа гистологических срезов).....	157
6.2. Агентные и нейросетевые технологии в ситуационном моделировании технологических систем.....	161
6.3. Разработка метода оптимизации аппроксимации полихромного изображения.....	171

6.3.1.	Разработка генетического алгоритма оптимизации аппроксимации полихромного изображения.....	172
Глава 7	ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОУСВОЯЕМОСТИ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ.....	178
7.1.	Параметрическое описание и математическое моделирование пищеварительной системы.....	180
7.2.	Разработка мультиагентной имитационной модели пищеварительной системы.....	184
Глава 8	ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ.....	193
	ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ.....	211
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	214
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	234

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Состояние питания – один из важнейших факторов, определяющих здоровье и сохранение генофонда нации. В России в 76% случаев причинами смерти оказываются неинфекционные заболевания, среди которых болезни системы кровообращения (56,7%), новообразования (14,4%), болезни органов дыхания (3,7%) и сахарный диабет (СД) (1,5%). Ряд заболеваний связаны с недостаточностью или избытком определенных компонентов в каждодневном рационе питания человека. Около половины случаев смертности в возрасте до 70 лет в той или степени связаны с неправильным питанием. Одной из главных предпосылок сохранения здоровья человека является его оптимальный рацион питания, содержащий необходимые для организма аминокислоты и жирные кислоты, витамины и различные микроэлементы. Именно при достижении оптимальной структуры питания обеспечиваются высокая работоспособность и первичная профилактика многих заболеваний, повышается иммунная резистентность и усиливается защита организма от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Решение вопроса адекватного (здорового) питания, соответствующего потребностям и возможностям организма человека и сбалансированного по всем показателям пищевой и биологической ценности, связано с созданием современных систем поддержки принятия решений (СППР). В состав СППР входят Big Data (большие массивы баз данных и знаний о предметной области). В них содержится информация, отражающая выбор индивидуальных (персонализированных) рационов и режимов питания с учетом возрастных факторов, физиологического состояния, медико-биологических требований, региональных условий, особенностей потребления пищи, а также источника нарушения иммунного статуса. Сложность принятия оптимальных решений обуславливается множеством факторов. В первую очередь, вероятностным разбросом характеристик и свойств исходных компонентов биологического сырья. Во-вторых, индивидуальностью физиологических особенностей

организма, требующих в каждом конкретном случае индивидуального выбора и коррекции моделей рационов с учетом структурных соотношений и ограничений на компонентном, элементном и моноструктурном уровнях. В-третьих, сочетаемостью продуктов в одном рационе, и проявлением различных эффектов комбинации, таких, как синергизм и антагонизм.

В пункте 11 Постановления Президиума РАН № 178 от 27.11.2018 «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.

Применение высоких технологий позволит не только оценить фактическое питание (получить «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.

Степень разработанности темы: В настоящее время хорошо изучены математические основы решения задач рецептурной оптимизации. Большой вклад в развитии теории моделирования продуктов питания внесли российский ученые: Бражников А.М., Рогов И.А., Липатов Н.Н. (мл.), Лисицын А.Б., Ивашкин Ю.А., Красуля О.Н., Краснов А.В., Николаева С.В., Мусина О.Н., Просеков А.Ю. и т.д.; методов системного анализа, моделирования – Кафаров В.В., Гордеев Л.С., Мешалкин В.П., Дорохов И.Н., Пащенко Ф.Ф., Протопопов

И.И. и др.; разработки состава и технологии продуктов детского, школьного, диетического, геродиетического, функционального и специализированных продуктов питания – Устинова А.В., Юдина С.Б., Тихомирова Н.А., Токаев Э.С., Титов Е.И., Чернуха И.М., Кочеткова А.А., Дыдыкин А.С., Gibbons H, Harland J.I., Joost H.G., Pratico G, Sadeghi L., Celis-Morales C., Livingstone K.M., Ferguson L.R., Ordovás J.M., Longo V.D. и др.

Однако, оптимальная рецептура пищевого продукта не гарантирует превращения в процессе технологической обработки в устойчивую систему с требуемыми структурно-механическими, функционально-технологическими показателями. Приобретение пищевой композицией отдельных структурных форм (консистенция, внешний вид, связанность, текстура и т.п.) обусловлено особенностями протекания коллоидно-химических процессов по типу «белок-белок», «белок-вода», «белок-жир», «вода-белок-жир».

Решение индивидуально подобранного рациона питания с учетом множества параметров физиологического состояния, альтернатив и критериев требует системного анализа и формализации накопленных знаний, данных, сведений в области разработки продуктов и рационов питания и применения высоких технологий.

Цель и задачи исследования Целью диссертационной работы является определение направлений цифровой трансформации, теоретическое обоснование создания и применения человеко-машинных 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. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- анализ и систематизация наукоемких технологий в формировании продуктов питания с целью оценки их интероперабельности и возможности алгоритмизации;

- теоретическое обоснование формирования специализированных проблемно-ориентированных баз данных;
- разработка аналитического и программно-технического инструментария с учетом предметных областей их использования и современных методов обработки массивов информации, направленных на повышение эффективности управленческих процессов, протекающими в системе.
- составление концептуальных схем группирования пищевых продуктов и блюд по различным признакам с применением методов и алгоритмов кластерного анализа;
- разработка пошагового алгоритма создания «цифровых двойников» - имитационных моделей продуктов общего и специализированного питания и технологических процессов;
- создание имитационной модели ЖКТ для моделирования, прогнозирования и изучения превращений пищевых компонентов с учетом особенностей состава продукта, специфики его воздействия и особенностей пищеварения индивидуума;
- апробация разработанных инструментов применительно к объекту исследования.

Задачи, поставленные в рамках исследования решались на основе методов математического моделирования, методов анализа данных и машинного обучения, теории принятия решений, методов объектно-ориентированного анализа и программирования, теории баз данных.

Научная новизна

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 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.

Оригинальность и научная обоснованность подходов отражена в 115 публикациях, из которых 25 опубликованы в рецензируемых международных базах данных (Scopus и WoS).

Теоретическая значимость 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.

Доказана интреоперабельность и возможность алгоритмизации этапов технологического процесса производства пищевых продуктов и блюд; подтверждена эффективность предложенных подходов в сравнительных экспериментах с использованием традиционных методов.

Практическая значимость

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).

Разработана база данных «Пищевые продукты» (Свидетельство Роспатент № 2015620557 от 30.03.2015)

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

Получен патент на «Способ производства функционального продукта» (Патент на изобретение RU 2536952 C1, 27.12.2014. Заявка № 2013126936/10 от 13.06.2013).

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.

Положения, выносимые на защиту

Методология создания «цифровых двойников» пищевых продуктов питания.

Мультиагентная модель химико-физиологических процессов в желудочно-кишечном тракте человека для оценки биодоступности основных пищевых веществ.

Научно-обоснованные подходы к разработке концептуальных схем группирования пищевых продуктов и блюд по различным признакам с применением методов и алгоритмов кластерного анализа.

Структурирование массивов данных (медико-биологические требования к питанию детерминированных групп потребителей, характеристики диетических столов, знания о компонентах пищи и их роли в профилактике и лечении алиментарных заболеваний) и разработка реляционных баз данных.

Концепция моделирования биологической совместимости пищевых продуктов, включенных в рацион индивидуального питания, с текущим состоянием человека и физиологическими процессами пищеварения.

Степень достоверности и апробация результатов. 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».

Отдельные этапы работ были выполнены при поддержке Российского Научного фонда (грант РНФ № 16-16-10073П); совместно с Фондом инфраструктурных и образовательных программ при разработке 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 рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 – 2020 годы.

Основные научные положения и ключевые результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на симпозиумах и конференциях различного уровня: конференции Отделения хранения и переработки сельскохозяйственного сырья Россельхозакадемии (Углич, 2010), Всероссийском конгрессе диетологов и нутрициологов «Питание и здоровье» (Москва, 2008), научно-практических конференциях «Цифровая трансформация пищевой и перерабатывающей промышленности» (Москва, 2019), «Цифровая трансформация АПК: особенности в пищевой и перерабатывающей промышленности, казачьих хозяйствах и сельскохозяйственных кооперативах» (Москва, 2019), «Научно-техническое обеспечение эффективности и качества производства продукции АПК» (Ржавки, Московская область, 2019), Российской конференции «Автоматизация пищевой промышленности» INTEKPROМ IT-FOOD (Челябинск, 2018), Международной специализированной конференции-выставки «Фабрика будущего» (Москва, 2020), Международных конференциях «Логистика и экономика

ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» ЛЭРЭП (Тула, 2017), «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ (Минск, Белоруссия, 2017, Санкт-Петербург, 2018, 2019), «Проблемы оптимизации и их приложения» ОРТА (Омск, 2018), «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы», ГИСИС (Солнечногорск, Калининградская область, 2018), «Информационные технологии и нанотехнологии» ITNT (Самара, 2019, 2020), IFAC Conference of Manufacturing Modeling, Management, and Control, MIM (Берлин, Германия, 2019), бюро РАН (2018, Москва), Conference of Open Innovations Association FRUCT (Ярославль, 2020), «Cyber-Physical Systems Design And Modelling» CYBERPHY (Казань, 2020), International Meat Industry Conference MEATCON-2019 (Kopaonik, Serbia, 2019), 3rd International Conference on Information Processing and Control Engineering IPSA-19 (Москва, 2019).

Личное участие автора. Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2002-2021 гг. лично автором и при его непосредственном участии в качестве руководителя, или ответственного исполнителя, или исполнителя научно-исследовательских работ.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 115 научных работах, в том числе 1 учебнике, 1 учебном пособии, 1 монографии, 41 статье, опубликованных в ведущих российских научных периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных исследований, а также 25 статьях в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS); получено 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации базы данных, один патент РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения и восьми глав, включающих обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы, методологическую часть, результаты собственных исследований, заключение, список литературы и приложения. Основной текст работы изложен

на 233 страницах компьютерного текста, содержит 30 таблиц и 60 рисунок. Список литературных источников включает 176 наименования, в том числе 102 – иностранных авторов.

Глава 1 ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ – СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, указано на необходимость перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, созданию систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта [62].

Развитие научно-технического потенциала АПК в современных условиях включает в себя внедрение новых инновационных технологий, обновление и модернизацию предприятий пищевой промышленности с целью обеспечения выпуска пищевой продукции гарантированного качества в условиях мировой конкуренции.

Новая программа цифровой экономики России ставит целью выведение общества и отраслей промышленности на новый технологический уровень. Основной ее целью является развитие цифровой среды в обществе, способствующей решению проблем конкурентоспособности и национальной безопасности Российской Федерации. Преимущества новой экономики налицо: внедрение дистанционной эксплуатации, снижение себестоимости производимой продукции, свободный доступ на рынок для всех отраслей, облегчение операций сбора и обработки данных и др. [3].

Согласно результатам исследования российского рынка интернета вещей (IoT), которое провели эксперты Schneider Electric, самыми нецифровизированными отраслями российской экономики являются ЖКХ, сельское хозяйство и здравоохранение (Рисунок 1) [72].

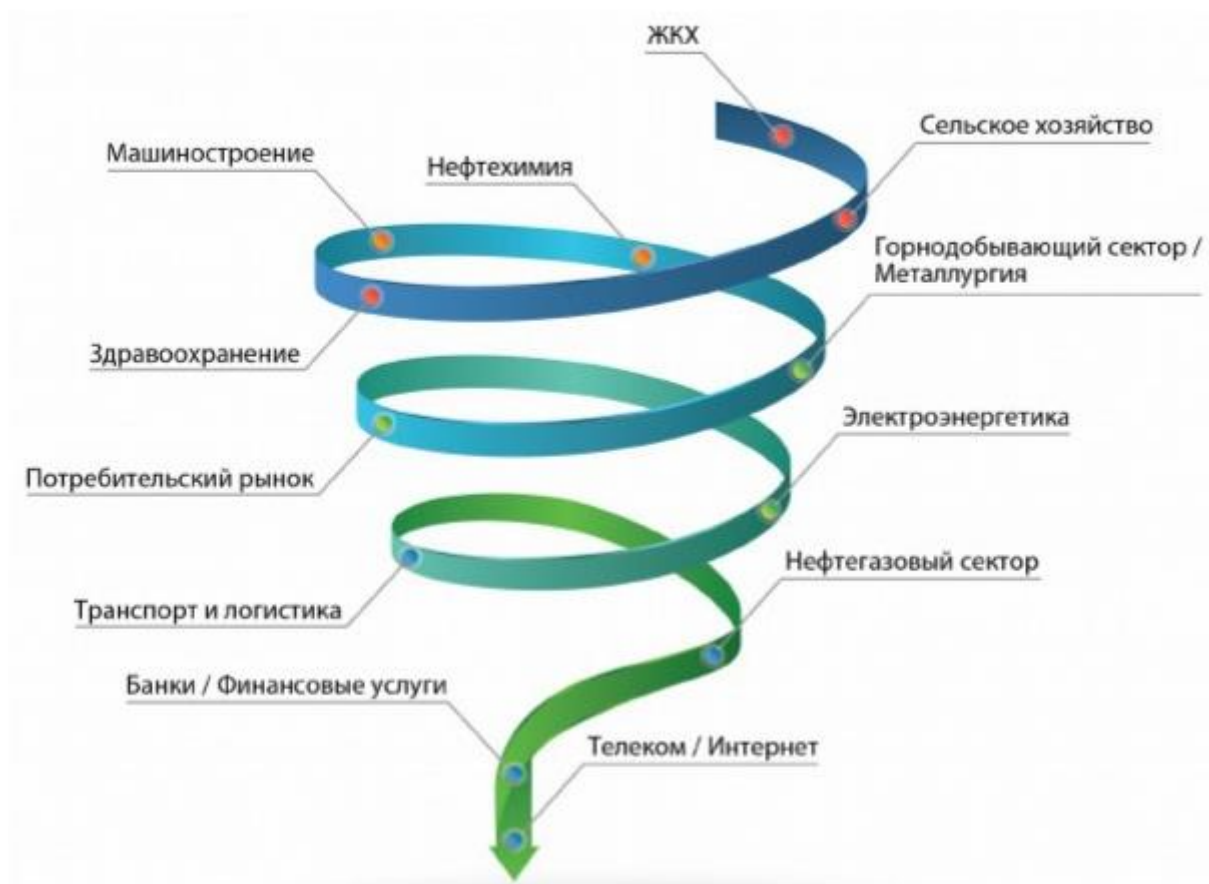


Рисунок 1 – Нецифровизованные отрасли российской экономики [72]

Результаты исследования аналитики Schneider Electric визуализировали в виде воронки, в центре которой отрасли с высоким уровнем цифровизации, а по краям – наименее технологичные.

В своей книге «Четвертая промышленная революция» Клаус Шваб [160], основатель и бессменный президент Всемирного экономического форума в Давосе, пишет «мы стоим у истоков революции, которая фундаментально изменит то, как мы живем, работаем и общаемся друг с другом. По масштабу, объему и сложности четвертая промышленная революция не имеет аналогов во всем предыдущем опыте человечества. Нам предстоит увидеть ошеломляющие технологические прорывы в самом широком спектре областей, включая искусственный интеллект, роботизацию, автомобили-роботы, трехмерную печать, нанотехнологии, биотехнологии и многое другое».

Термин «Индустрия 4.0» был предложен в 2011 году на Ганноверской ярмарке немецким физиком Х. Кагерманном. Бизнесмены, политики и учёные определили Четвёртую промышленную революцию как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию «киберфизических систем¹», или CPS в заводские процессы.

Стратегия высоких технологий для Германии (нем. *Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland – HTS II*). Особое значение этот документ уделяет повышению прозрачности всех процедур, связанных с разработкой и реализацией стратегии, и расширению участия общественности (в том числе с помощью современных интернет-технологий) в оценке полученных результатов и интеллектуальном краудфандинге.

К. Шваб [160] даёт содержательное описание 23 «глубинных изменений», которые принесёт четвертая промышленная революция. Среди них самые разные аспекты внедрения цифровых технологий – от имплантируемых в тело человека технологий, «цифровидения» как нового интерфейса и интернета вещей и до «умных городов», «больших данных» для принятия решений и самых разных применений 3D-печати. По мнению К. Шваба, новая четвертая промышленная революция оказывает и будет оказывать влияние на все сферы общества.

Однако, это мнение больше подходит к описанию японской стратегии «Общество 5.0» [51], а не немецкой – «Индустрия 4.0» [127].

Согласно стратегии «Общество 5.0», передовые технологии, проникнув во все сферы жизни, должны привести к появлению новых форм и видов

¹ Кибер-физические системы — это все системы на стыке физического (physical) и цифрового (digital) миров. Это универсальное собирательное понятие, которое используется для обозначения большого числа новых технологий: «Интернет вещей» (Internet of Things), «Большие данные» (Big Data), «Умные города» (Smart Cities), «Умные дома» (Smart Homes), «Умная промышленность» (Smart Industry, Industry 4.0) и т. д.

бизнеса и тем самым к экономическому подъёму страны в целом и росту качества жизни каждого человека в отдельности. Являясь следующим этапом после четвёртой промышленной революции, в рамках которой компьютеризация касалась в основном производства и бизнеса, концепция «Общество 5.0» предлагает более глубокое и расширенное использование цифровых технологий во всех сферах жизни общества.

Во многих странах разрабатываются концепции цифровизации экономики и общества. Например, стратегия Германии High-Tech Strategy 2020, суть которой в использовании новейших технологий, включая интернет вещей (IoT) в обрабатывающей промышленности; или стратегия США Industrial Internet, предполагающая создание комплексного решения, объединяющего информационные процессы с производственными, или японская концепция «Общество 5.0» (англ. Society 5.0 или Super Smart Society), создание которой стало ответом Японии на стратегии других стран в продвижении их инициатив по собственному видению долгосрочного развития, сохранения или завоевания лидирующих позиций в мировой экономике. По мнению японского правительства, развитие таких новых технологий, как Интернет вещей (IoT), робототехника, искусственный интеллект и «большие данные» (Big Data), может существенно повлиять на развитие общества. В «Обществе 5.0» эти технологии объединены для осуществления изменений во всех отраслях промышленности, в социальной и экономической сферах.

Одной из отличительных черт Общества 4.0 от Общества 5.0 является «Умное производство».

«Умное производство (англ. Smart Manufacturing)» – это всеобъемлющее интенсивное использование сетевых информационных технологий и киберфизических систем на всех этапах производства. Такое производство позволяет добиться лучших условий труда, роста производительности, снижения издержек и, как следствие, повышения конкурентоспособности продукции.

Примером использования таких технологий является робот RF13 компании Newtech, который способен точно нарезать торты при помощи ультразвука. Ещё одним примером системного подхода к использованию передовых технологий служит платформа e-F@ctory, которую в 2003 году разработала компания Mitsubishi Electric. В России эта разработка была представлена в 2007 году. Платформа позволяет собирать потоки информации на всех этапах производства с помощью датчиков. Собранный объём информации анализируется при помощи технологии Edge Computing. Из всего анализа в ERP-систему передается только необходимая для принятия дальнейшего управленческого решения информация.

В Указе Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» среди приоритетов значится увеличение доли инновационных предприятий до 50 % от их общего числа, обеспечение внедрения цифровых технологий в экономику и социальную сферу, прорывное научно-технологическое развитие.

Выступая на пленарном заседании Международного конгресса по кибербезопасности 06.07.2018, Владимир Путин заявил: «С этого года в нашей стране реализуется программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Её цель – сделать экономику, госуправление, социальную сферу более эффективными и более конкурентоспособными, стимулировать спрос на инновационные идеи и перспективные научные исследования» [54].

По мнению экспертов, к 2035 году ожидается достижение уровня автоматизации производственных процессов и логистики до 95 %, что может быть обеспечено только за счёт технологий на основе искусственного интеллекта [60].

Однако, не только заводские процессы требуют автоматизации и цифровизации. Она необходима при решении задач, связанных с разработкой продуктов заданного состава и свойств, а также при составление

персонализированного рациона питания. Математизация исследований – это один из эффективных методов виртуального обоснования рецептуры и технологии пищевого продукта. Это подход позволяет создать продукт, отвечающий индивидуальным запросам потребителя, т.е. персонализированные пищевые продукты (этническая принадлежность, культурные предпочтения, региональные и экологические особенности, образ жизни), и одновременно сократить продолжительность и стоимость принятия решения.

Проектирование индивидуального (персонализированного) сбалансированного рациона с учётом множества факторов (индивидуальная непереносимость отдельных компонентов, антропометрические показатели, индекс массы тела, показатели пищевой и биологической ценности) невозможно без применения математического аппарата и современных цифровых технологий.

В первую очередь – это использование Big Data (большие массивы информации и знаний о предметной области). В Big Data должны содержаться сведения о диетических столах, функциональных и специализированных продуктах, особенностях питания дифференцированных групп людей (студенты, беременные женщины, пенсионеры и т. д.), нормы потребления пищевых нутриентов с учётом региона проживания, климатических зон, гендерных факторов, антропометрических показателей (возраст, вес, индекс массы тела), общих и конкретизированных медико-биологических требований, особенностей потребления пищи (есть аллергия или нет), а также информации об источнике нарушения иммунного статуса. Необходимо также учитывать сочетаемость продуктов в одном рационе и проявлением различных эффектов комбинации, таких, как синергизм и антагонизм.

В 2018 году было принято Постановление Президиума РАН № 178 от 27.11.2018 «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки». В пункте 11 которого 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.

Цифровая нутрициология обеспечивает перевод на язык цифр, с одной стороны, физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах и ориентированных на них рационов питания, а с другой – химического состава пищевых продуктов и рационов в целом. Создание на их основе компьютерные программы позволяют легко, быстро и надежно осуществлять разработку персонализированных рационов как для здорового питания населения, так и для профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний.

Реализация этого научного направления имеет важное медико-социальное значение, способствуя обеспечению высокого качества жизни, ее продолжительности, существенно снижая экономические потери страны, обусловленные приобретением ряда алиментарно-зависимых заболеваний.

В соответствии с планами реализации национального проекта «Демография», федерального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» и Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р) одной из важнейших задач является выполнение фундаментальных и поисковых научных исследований в области приоритетных направлений медицины, нутрициологии, диетологии, биотехнологий, направленных на обоснование принципов оптимального питания человека и повышение приоритета профилактики неинфекционных заболеваний. Реализация национальных проектов требует новых подходов и усиления роли науки в решении этих проблем.

Несбалансированный рацион является одним из главных факторов риска целого ряда неинфекционных заболеваний, то систематическое употребление разнообразных продуктов, представляющих собой источники незаменимых пищевых веществ, может повысить качество рациона как фактора, поддерживающего здоровье.

Ключевыми задачами государственной политики в области здорового питания являются разработка и внедрение в пищевую промышленность информационных технологий, в том числе цифровых, а также развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, специализированных продуктов детского питания, продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов [65].

Питание является одним из основных условий существования человека. Количество, качество, ассортимент потребляемых пищевых продуктов, своевременность и регулярность приема пищи решающим образом влияют на жизнь человека во всех ее проявлениях.

Правильное питание – важнейший фактор здоровья, работоспособности, активной жизнедеятельности человека. Среди условий внешней среды, постоянно воздействующих на человеческий организм, питанию, несомненно, принадлежит наибольший удельный вес. Однако пища имеет принципиальное отличие от других факторов внешней среды – в процессе питания она превращается из внешнего фактора во внутренний, и более того его элементы трансформируются в энергию физиологических функций и структурные элементы органов и тканей человека. Именно поэтому питание является основным фактором в обеспечении нормального роста и развития человеческого организма, его трудоспособности, адаптации к воздействию различных агентов внешней среды, и в конечном итоге можно считать, что фактор питания оказывает определяющее влияние на длительность жизни и активную деятельность человека [55].

Как известно, на организм человека постоянно оказывают негативное воздействие разнообразные химические, физические, социальные и другие факторы среды обитания, что приводит к ухудшению состояния здоровья на индивидуальном уровне и увеличению количества случаев заболеваемости, инвалидности, смертности.

Болезни, требующие огромных социальных затрат, ведущие к преждевременной смертности и лишаящие многих людей полноценной жизни, такие как инсульт, гипертония, ишемия сердца, многие виды рака, болезни полости рта, анемия, зоб, цирроз печени, диабет, наличие желчных камней, ожирение, болезни опорно-двигательного аппарата у престарелых, являются предупреждаемыми с помощью правильного питания, даже если еще неизвестен детальный механизм взаимосвязей избыточного или недостаточного питания и этих болезней. По оценкам экспертов ВОЗ, на борьбу с вышеупомянутыми болезнями выделяются ресурсы, значительно превышающие затраты, необходимые на их профилактику [103].

По данным ВОЗ в странах западной Европы 77% всех заболеваний составляют неинфекционные заболевания, и в 86% случаев они являются причиной смерти, среди них на первом месте – сердечно-сосудистые [103]. В России отмечается та же тенденция. Так, в 76% случаев причинами смерти оказываются неинфекционные заболевания, среди которых болезни системы кровообращения (56,7%), новообразования (14,4%), болезни органов дыхания (3,7%) и диабет (1,5%). Основными факторами риска, влияющими на смертность населения в Российской Федерации, являются: артериальная гипертензия (35,5%), повышенный уровень холестерина (23%), курение (17,1%), недостаточное потребление овощей и фруктов (12,9%), ожирение (12,5%), чрезмерное потребление алкоголя (11,9%), низкая физическая активность (9%). Сегодня очевидно, что снижение смертности и увеличение ожидаемой продолжительности жизни в России возможны прежде всего благодаря профилактике хронических неинфекционных заболеваний [5].

Определен ряд основных неинфекционных болезней, включая сердечно-сосудистые болезни, диабет 2 типа и определенные типы рака, на которые приходится больше половины смертей, болезней и инвалидности, как алиментарнозависимых, т.е. могут ужесточаться или корректироваться соответствующим питанием.

Однако ВОЗ называет избыточную массу тела (индекс массы тела ИМТ=25-29,9) и ожирение (ИМТ=30 и более) самой большой непризнанной проблемой общественного здравоохранения в мире [103].

Около половины случаев смертности в возрасте до 70 лет в той или степени связаны с неправильным питанием [67].

Ряд заболеваний связаны с недостаточностью или избытком определенных компонентов в каждодневном рационе питания человека. Такие связи прослеживаются между фтором и кариесом, йодом и зобом, незаменимыми жирами и болезнями сердечно-сосудистой системы, пищевыми волокнами и заболеваниями желудочно-кишечного тракта, кальцием, фтором, витамином D и заболеваниями опорно-двигательного аппарата, железом, фолиевой кислотой и анемией.

Степень усвояемости компонентов диеты в значительной степени зависит от сопутствующих им веществ. Например, кальций относится к трудноусвояемым веществам. В продуктах питания кальций содержится главным образом в виде труднорастворимых солей (фосфатов, карбонатов, оксалатов и др.). Растворимость солей кальция увеличивается в кислой среде желудка, но растворенные ионы до некоторой степени повторно связываются и преципитируются в тощей и подвздошной кишке, где pH ближе к нейтральному. На степень усвояемости кальция, поступающего в составе пищевых продуктов, оказывает негативное влияние недостаток белка, но избыток пищевых волокон, фитиновой кислоты. Всасыванию кальция часто препятствует щавелевая кислота. Соединяясь с щавелевой кислотой, кальций дает нерастворимые в воде соединения, которые являются компонентами

камней в почках. Это щавель, ревень, шпинат, свекла. Фитиновая кислота (которой особенно богаты злаки - связывает кальций в нерастворимую форму. Повышение потребности в кальции при увеличении в рационе пищевых волокон увеличивает риск заболевания остеопорозом [83, 166], возможно также возрастание агрессивности при снижении потребления жиров [81], что необходимо учитывать при разработке и адаптации индивидуальной диеты (персонализации в питании).

Существенный вклад в решение обозначенных проблем может внести использование современных информационных технологий, которые позволят оперативно оценивать психофизиологические особенности человека; подбирать, с учетом этой оценки, индивидуальные полноценные рационы питания на основе оптимизированной процедуры; проводить индивидуальное обучение здоровому питанию и пропагандировать знания в этой области с использованием обобщенных и формализованных в виде баз данных (знаний) сведений о взаимосвязях питания, здоровья, возраста, индивидуальных особенностей человека и экологических условий; осуществлять контроль процесса применения диеты.

При разработке рациона питания (или продукта) необходимо иметь сведения о химическом составе кулинарных изделий и блюд (или сырьевых компонентах), входящих в него, а также информацию о научно-обоснованных принципах питания для профилактики конкретного заболевания; конкретизированные медико-биологические требования к питанию при определенном виде заболевания. Эта информация должна храниться в электронном виде.

В настоящее время существуют следующие базы данных:

- наиболее крупная бесплатная общемировая база продуктов питания **TGI Global Supplement database** (<http://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en/>). Это совместный проект ФАО, INFOODS и Института глобального здравоохранения имени Джорджа (George Institute for

Global Health, Sydney, Australia, <https://www.georgeinstitute.org>). База формируется следующим образом: потребитель делает фотографию маркировки продукта и отправляет в Институт глобального здравоохранения имени Джорджа, сотрудник которого включает информацию в базу данных.

- **FooDB** (<https://foodb.ca>) также является одной из крупнейших баз компонентов, химии и биологии пищи. Она содержит информацию по макро- и микронутриентам, включая компоненты, определяющие запах, вкус, цвет и текстуру продукта. Включены данные и по самим веществам, и их описания, информация о структуре, химическом классе, физико-химических данных, источниках их получения, физиологических эффектах, предполагаемых эффектах для здоровья и их концентрации в различных продуктах.

- **Australian Food Composition Database** (до 2017 года NUTTAB, <https://www.foodstandards.gov.au/science/monitoringnutrients/afcd/Pages/default.aspx>) - база данных австралийских пищевых композиций, содержит данные о содержании питательных веществ в австралийских продуктах. Он называется справочной базой данных, поскольку содержит в основном проанализированные данные. Лишь небольшая часть данных в базе данных поступает из других источников, таких как расчеты рецептов, маркировка продуктов питания, условные данные из аналогичных продуктов или заимствованные из других стран. База содержит данные о питательных веществах для 1534 пищевых продуктов, доступных в Австралии, и до 256 питательных веществ в продукте.

- **FNDDS (Food and Nutrient Database for Dietary Studies)** – база данных о продуктах питания и питательных веществах для исследований в области питания на 2015–2016 годы, содержит значения питательных веществ и компонентов пищевых продуктов для продуктов питания и напитков, о которых сообщается в документе «Что мы едим в Америке», компоненте рациона питания в рамках Национального обследования здоровья и питания (NHANES).

Данные FNDDS облегчают анализ потребления пищи, о котором сообщают в NHANES, а также многих других диетических исследований.

- **USDA Branded Foods Database** (<https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-branded-food-products-database>) – глобальная база данных брендовых пищевых продуктов, ранее размещавшаяся на web-сайте Базы данных о составе пищевых продуктов USDA, представляет собой данные государственно-частного партнерства, целью которого является расширение открытого обмена данными о питательных веществах, которые появляются в продуктах брендов и частных торговых марок, и предоставляются пищевой промышленностью.

Использовать вышеперечисленные базы данных при составлении индивидуального питания «русского» человека не корректно, т.к., во-первых, в базах данных содержится информация о западных продуктах и кулинарных изделиях. В России нет общедоступной базы данных продуктов, блюд и кулинарных изделий, есть отдельные базы данных химического состава сырья, справочки химического состава пищевых продуктов (1987), химического состава российских продуктов питания (2002). Во-вторых, для разработки персонализированного питания необходимо учитывать взаимосвязь метаболизма человека с генетикой, микробным метаболизмом, питанием и болезнями. Таких баз данных в мире в настоящее время пока нет, есть отдельные элементы.

К настоящему моменту разработаны и активно используются различные программные продукты для автоматизации технологических расчетов рецептур пищевых продуктов различных групп и рационов питания. Проведенный детальный анализ IT-решений отечественных и зарубежных программ для составления дневного рациона, позволил сделать вывод, что все программные продукты являются обычными калькуляторами калорий.

1. В Великобритании разработана программа **DietPlan7** (www.fore-soft.com) [19] – компьютерная программа для анализа питания, диеты (рациона), блюд, меню и личных дневников взвешенного потребления. Он

работает на ПК с 32- и 64-разрядными версиями Microsoft Windows, от Windows XP до Windows 10. Существует две версии программного обеспечения: **Dietplan7 Professional** и **Dietplan7 Personal**. Они идентичны по задачам анализа питания, которые они могут выполнять, но каждая из них предназначена для разных типов пользователей.

Dietplan7 Professional предназначена для использования в организации или отделе, где программное обеспечение могут использовать более одного человека, и каждый пользователь может получить определенные права доступа (идентифицирующий логин и пароль) от администратора. **Dietplan7 Personal** предназначена для использования только одним человеком.

Программа интегрирована с базами данных Макканса-Видоусона, американской USDANDB, австралийской NUTTAB, датской, канадской, новозеландской базами данных нутриентов. Состав нутриентов по некоторым базам данных превышает сотню показателей. Разработчики ПО обеспечили гармонизацию характеристик пищевой ценности, что позволяет использовать исходные данные существенно различных источников. Однако интерфейс (англоязычный) требует специального освоения, неподготовленный пользователь не сможет самостоятельно использовать все возможности ПО. Программа позволяет формировать индивидуальные и групповые отчеты, допускается редактирование референтных значений исследуемой категории пациентов.

2. **NutriSurvey** (Nutrition Surveys and Calculations) представляет собой наглядный дневник питания, который пользователь заполняет в течение дня (рис. 2). При регистрации нужно обязательно ввести: возраст, пол, вес, рост, уровень активности в течение дня. NutriSurvey – это английский перевод профессионального немецкого программного обеспечения по питанию (**EBISpro**).

Широкий набор показателей пищевой ценности может быть настроен под конкретного пользователя системы. База данных немецких продуктов может

быть дополнена из широкого списка других национальных баз данных: США, французской, боливийской, бразильской, египетской, индийской, гватемальской, индонезийской, мексиканской, малийской, перуанской, сенегальской, тайской, вьетнамской. Имеется краткий список FAO (200 наименований продуктов). В программе содержится несколько референтных значений норм потребления: FAO/ВОЗ (международная), немецкая, американская. Значения норм потребления дифференцированы по половозрастному принципу.

Программа содержит все полезные функции, которые типичны для данного вида программного обеспечения (анализ питательных веществ и расчет потребности в энергии, планирование диет, история диет, частота пищевых продуктов, поиск питательных веществ в пищевых продуктах и т.д.). Это дает очень полезную информацию, но, стоит отметить, что программа дает расчетные цифры, которые всегда являются только оценками более или менее правильными в зависимости от качества данных о пище, биодоступности и других факторов, находящихся в базе данных.

Energy requirement:

Personal data

Name:

Age: 42 | Height (cm): 173 | Weight (kg): 67

Sex: ☐ female ☒ male

Kind of work: ☐ very light ☒ light ☐ medium ☐ heavy ☐ very heavy

Optional data

min	[kJ/(kg·h)] Energy costs	kcal/day
1440	[0] Sleeping	0
0	[2] Eating or sitting	0
0	[4] Light work	0
0	[8] Walking	0
0	[15] Cycling 15 km/h	0
0	[25] Swimming light	0
0	[35] Running 8 km/h	0
0	[45] Running 10 km/h	0
0	[60] Running 14 km/h	0

Result

Basal	Additional	Sum
1574 kcal/day	708 kcal/day	2282 kcal/day

BMI (21-26): 22.4 | Recommended: (BMI = 23.7) 2362 kcal/day

Buttons: Weight reduction diagram, Weight gain diagram, Reset, Help, Close

Рисунок 2. Расчет потребления калорий в NutriSurvey

3. Онлайн-калькулятор калорий. Калькулятор калорий позволяет рассчитать то количество энергии, которое необходимо ежедневно получать вашему организму в зависимости от вашего роста, веса, возраста и степени

физической активности (норма калорий). Расчет суточной нормы калорий осуществляется по формулам Харриса-Бенедикта и Миффлина-Сан Жеора. Калькулятор калорий в результате расчета выдает рекомендации по величине числа калорий, необходимой для снижения веса. Рекомендации по величине калорий расписаны в виде примерного графика по дням недели. Проект имеет коммерческий характер, поэтому на основе полученных данных пользователю программа предлагает «шаблон» рациона питания, в который включена продукция фирмы General food.

4. **MyFitnessPal** одно из популярных приложений для отслеживания процесса поддержания физической формы и похудения. Удобный онлайн-дневник питания; пищевая база данных включает 300 000 000 наименований пищевых продуктов, кулинарных изделий и блюд; возможность добавления «личной» пищевой базы данных (собственные блюда и рецепты с химическим составом); личный диетический профиль. MyFitnesspal свободно распространяемый программный продукт (ПП) для мобильных устройств на базе платформы Android и IOS. Приложение выводит общее количество калорий, которые следует потреблять человеку с учетом степени физической активности, антропометрических данных, возраста и пола. Пользователь в системе видит общее количество калорий, которые он «съел» и сколько осталось употребить до конца дня.

5. **8fit** – коммерческая программа индивидуальная питания, режима дня и регулярных тренировок. После заполнения данных о пользователе, его режиме дня, приложение рекомендует план питания от инфографики питания со списком рецептов, до некоторых полезных советов по получению максимальной отдачи от времени приема пищи. В состав 8 Fit входят диеты: Standart (стандартная пища), Pescetarian (овощи и морепродукты), Vegetarian (без мяса или рыбы), Vegan (без продуктов животного происхождения), Paleo

(только мясо, рыба, орехи и овощи), Custom (самостоятельно выбираем каждый продукт питания).

Анализ зарубежных компьютерных программ показал, что все они являются исключительно калькуляторами калорий, не учитывают специфику заболеваний, особенностей организма; отсутствуют сведения о российских пищевых продуктах и блюдах, не учитываются требования российского законодательства к составу, качеству и безопасности пищевых продуктов и блюд. Во многих программах не предусмотрен русскоязычный интерфейс.

Отечественные компьютерные программы в основном выполняют функцию инструмента оценки фактического питания, в основе лежит опрос об объеме и частоте потребления продуктов, на основании которого делается заключение (вывод) о пищевом статусе респондента.

1. **«Оценка фактического питания»** от НИИ питания, применяется в лечебно-научной работе и при обучении диетологов.

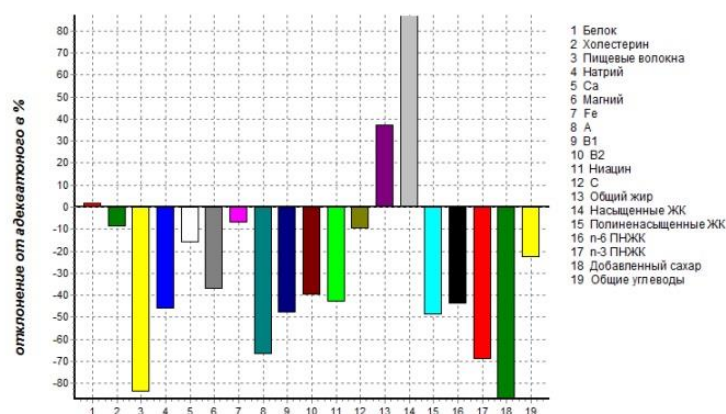
На первом этапе вводится информация: возраст, антропометрические данные, сведения о физической активности. Основную часть опроса составляют сведения о потреблении продуктов и блюд. По каждому продукту вводят объем порции и частоту потребления. В итоге получают сведения о средненедневном потреблении.

В программе содержится база данных со сведениями о 72 продуктах по 19 характеристикам. Программа позволяет формировать протоколы в табличном и графическом виде. Итоговый протокол содержит расчетный уровень величины основного обмена рекомендации по калорийности, структуру показателей пищевой ценности по продуктовым группам, а также график характеристик пищевой ценности в отношении к установленным нормам (рис. 3 а, б).

Ф И О:		
Номер истории болезни:		
Дата рождения:		
Пол:		
Дата проведения:		
Антропометрия		
Рост:	172 см	Окружность талии: 80 см
Масса тела:	134,0 кг	Обхват бедер: 70 см
Индекс массы тела:	45,29 (ожирение)	
Оценка потребности в энергии		
Физическая активность	Основной обмен, ккал	Потребность в энергии, ккал
В будние дни 1,314	Нижняя граница 2247	В будние дни 2951 - 3390
В выходные дни 1,325	Верхняя граница 2581	В выходные дни 2977 - 3419
Оценка состояния питания по профилю потребления пищевых продуктов		
Наименование продукта	Среднее, г/дн	
Булка сдобная	11,51	
Блины	4,93	
Пирожки с любой начинкой	35,62	
Сушки, баранки	42,74	

а)

Оценка состояния питания. Анализ результатов



б)

Рисунок 3. Оценка состояния питания. Анализ результатов а) по профилю потребления пищевых продуктов; б) отклонение от нормы пищевых веществ

2. «Оценка питания» на платформе «1С: Предприятие 8» может быть использована не только для взрослых различного возраста, пола, степени физической активности, но и для детей школьного и дошкольного возраста. В базе данных содержатся продукты детского вскармливания и функциональные продукты, блюда из меню питания школьников и дошкольников.

В результате оценки фактического питания выявляются отклонения от установленных норм потребления пищевых веществ и энергии в сутки (рис. 4).

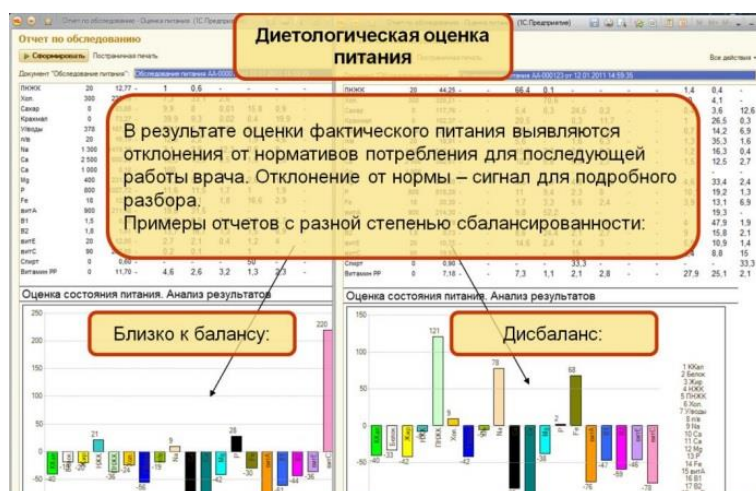


Рисунок 4. Отчет по обследованию. Оценка состояния питания. Анализ результатов

3. «Истоки здоровья» от Центра медицинской профилактики (г. Рязань) [4].

Программа также проводит опрос о частоте и объеме потребления пищи, имеет базу данных с функцией добавления продуктов, кулинарных блюд и изделий, графическую визуализацию (рис. 5).



Рисунок 5. Нутриентный состав суточного рациона питания

4. «Оптимальное питание 5.0» (Свидетельство РОСПАТЕНТА № 2018665829, от 11.12.2018г.) от Центра медицинской профилактики (г. Рязань).

Программа позволяет онлайн доступ к базам данных продуктов и блюд, позволяющих автоматически собирать с пациента всю необходимую

информацию и в очень ограниченное время (10-15 мин) рассчитывать индивидуальный недельный рацион, отвечающий нутриентным потребностям (пациента) клиента. Такие объемы информации, скорости обработки и принятия решения стали возможными совсем недавно и потребовали для решения задачи привлечения математических методов многопараметрической нелинейной оптимизации.

Программа позволяет осуществить подбор дневных и недельных индивидуальных рационов питания с нутриентным составом близким к индивидуальной нутриентной норме по Калорийности, Белкам, Жирам, Углеводам (КБЖУ), витаминам и минеральным веществам.

Программа разрабатывалась в помощь диетологу. Как следствие, подбор конкретных продуктов и блюд для удовлетворения индивидуальной нутриентной нормы становится для диетолога второстепенной задачей, которую в большей части выполняет компьютер (рис. 6). Диетологу достаточно составить обобщенное меню и распределить его по приемам пищи. При этом он оперирует не конкретными продуктами, а группами продуктов (супы, каши, мясные блюда, хлебобулочные изделия и т.п.)

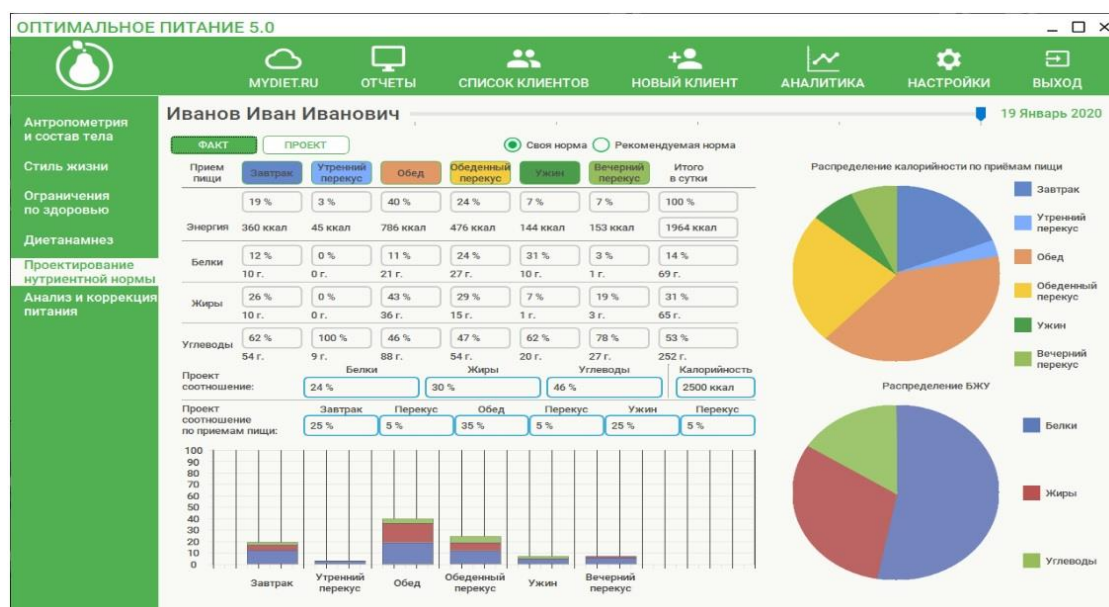


Рисунок 6. Проектирование нутриентной нормы

5. «Диетическое питание» от компании 1С: Предприятие.

Программа адресована: (1) диетсестре – составление меню и связанные с этим расчеты, численность питающихся по диетам (порционник); (2) диетврачу – разработка рационов и контроль фактического рациона питания; (3) технологу и повару – разработка технологических карт блюд (карточек-раскладок), расчеты пищевой ценности, бракераж блюд и сырья; (4) кладовщику – учет продуктов по местам хранения, заказ продуктов; (5) бухгалтеру – учет стоимости питания, бухгалтерский учет продуктов по источникам финансирования.

Основные функциональные возможности: планирование питания; повседневная работа с меню; учет продуктов; формирование итоговых документов; совместное использование с другими программными продуктами.

Модуль **«Планирование питания»** организует питание по рационам (завтрак, второй завтрак, обед, полдник, ужин, второй ужин и т.д.), которые вводятся в справочнике *«Рационы»* (рис. 7). Помимо выделения в составе продукта (на 100 г. съедобной части) содержания белков, жиров и углеводов в диетическом питании принята разбивка по следующим компонентам: 1) общее количество белков, г.; 2) белки животные, г.; 3) общее количество жиров, г.; 4) жиры растительные, г.; 5) общее количество углеводов, г.; 6) витамин А, мг.; 7) витамин В₁, мг.; 8) витамин В₂, мг.; 9) витамин С, мг.; 10) витамин РР, мг.; 11) Na, мг.; 12) К, мг.; 13) Са, мг.; 14) Mg, мг.; 15) Р, мг.; 16) Fe, мг. Калорийность блюда получают путем суммирования калорийности всех входящих в него продуктов. Это же правило распространяется и на все 16 вышеперечисленных компонентов.

Плановое меню: Меню для категории "Ком. пуг" диета № 1

Действия ▾

Код: 1 Наименование меню: Меню для категории "Ком. пу" Неделя: Неделя первая ... x Q

Категория довольствующихся: Ком. пуг ... x Q Диета: Диета №1 ... x Q

Отключить закладки

☐ Отключить ввод по дням недели

☐ Отключить ввод по рационам

Понедельник

Вторник

Среда

Четверг

Пятница

Суббота

Воскресенье

Плановое меню на понедельник

Завтрак Второй завтрак Обед Полдник Ужин Второй ужин Доп. питание

N	Вид блюда	Шифр блюда	Блюдо	Диеты	Ед. изм.	Выход теор.	Выход факт.
1	Первое	2244A	Баклажаны тушеные с помид.	1, 8		150,00	150,00
2	Первое	2014	Биточки по-белорусски запеченные	1, 15, 8, 9		100,00	100,00
3	Второе	4039A	Блины с маслом	1, 15		160,00	160,00
4	Второе	4039	Блины с медом	1, 15		170,00	170,00
5	Напитки	3070A	Чай (2г)	1, 10, 15, 5		200,00	200,00

OK Записать Закрыть Меню · заказ

Рисунок 7. Плановое меню на понедельник

На отечественном рынке существуют аналогичные продукты: Etalon [6], ШкоОптиПит [30], «Разработка рецептур композиций из растительного сырья» [8], Generic 2.0 [13], «Система расчётов для общественного питания» [11], CheesePro 1.0 [32], продукт «Вижен-Софт: Питание в детском саду» [9], «АВЕРС: Расчёт меню питания» [68], Шеф Эксперт [88] и т.д. Они осуществляют калькуляцию калорийности и основных пищевых веществ.

Анализ отечественных компьютерных программ показал, что все они построены на опросно-частотном методе, который оценивает лишь объем потребления. В программах не учитывается степень усвояемости пищевых нутриентов, сочетаемость продуктов между собой, режим физической активности. Еще одним недостатком опросного метода являются средние значения. Значения, характеризующие вариабельность потребления, пока не изучаются. В опросных методиках баланс выводится в основном по калорийности, вычисляемым по формулам (Харриса-Бенедикта, Миффлина-Сан Жеора). Остальные характеристики пищевой ценности (белки, жиры, углеводы и витамины и т.д.) имеют референтные значения, выведенные в среднем «по дифференцированной группе».

Наряду с этим растет количество мобильных приложений и систем для «персонализированного управления здоровьем». Это связано развитием

современных мобильных технологий [66, 76, 77, 87, 93, 96, 122, 144, 168, 174]. Эти системы и приложения дополнили портфель цифрового здравоохранения и движений в количественном выражении. Благодаря достижениям в области самоконтроля, теперь возможен сбор и запись данных о здоровье человека и его физической активности. При наличии этих данных, системы и приложения обеспечивают лучшее понимание состояния здоровья пользователей и их взаимоотношений с окружающим миром.

Приведем несколько примеров существующих систем предоставления некоторых базовых рекомендаций, основанных на измеренных шагах, мониторинга сердечного ритма (пульс), и мониторинг сна, такие как Fitbit Flex (**"Fitbit"**, <https://www.fitbit.com/>), Garmin, Xiaomi и Misfit Shine (**"Misfit: фитнес-трекеры и умные часы (носимые технологии) - Misfit.com"**).

Samsung S Health (<https://health.apps.samsung.com/terms>) и *Google Fit* (<https://www.google.com/fit/>) работают в качестве персонального тренера по фитнесу и платформы для отслеживания состояния здоровья на основе учета количества шагов пользователя. В литературе существует большое количество работ в области агентного и социального интерактивного мониторинга здравоохранения и рекомендаций для пожилого населения [86, 79, 106]. Метаанализ литературных источников в базах данных Scopus, PubMed, MEDLINE, Web of Knowledge, Google Scholar, IEEE Xplore и Science Direct по ключевым словам диета, рацион, болезни, экспертные системы, мобильные технологии позволил провести сравнительный анализ экспертных систем в области «здоровья и хорошего самочувствия». В таблице 1 приведены характеристики экспертных систем.

Таблица 1. Экспертные системы в области здравоохранения и хорошего самочувствия

Система	Физиологические факторы	Используемые технологии	Динамический контекст	Многопрофильная рекомендация	Рассмотрение предпочтений
[154]	Болезни, пол,	Онтология	Статика (вход /	Велосипед, Бег,	да

	уровень активности, кровяное давление, белок в моче, кровь в моче, привычки сна и т.д.		выход (внутри / снаружи), аэробный / неаэробный, групповой / индивидуальный, зимний спорт)	Плавание, Айкидо, Конный спорт, Поло	
[174]	ИМТ, Базальная скорость метаболизма (BMR - Basal Metabolic Rate), энергия, болезни, возраст, пол, вес, рост	MET, RDR-дерево	Нет	Бег, Плавание, Теннис, Прогулки и т.д.	да
[77]	эмоции	Регрессия и классификация	Динамический (Игра наслаждение)	Компьютерные игры	да
[101]	ИМТ, Базальная скорость метаболизма (BMR - Basal Metabolic Rate), возраст, пол, вес, образ жизни, болезни	MET, онтология	Статика (пользователь доступен)	Бег, Прогулки, Велосипед	да
[87]	Болезни, статус беременности, телосложение	Целенаправленная обратная цепочка	Статика	Быстрая ходьба, Бег, Плавание	да
[93]	образ жизни, возраст, вес, уровень физической подготовки	Основанный на содержании и пользовательском сходстве	Динамический (местоположение и время)	Йога, бег трусцой	да
[96]	болезни	Онтология	Динамический (тип бегуна, поверхности, тип расы)	Бег	да

«Здоровое» питание нельзя сводить к подсчету калорий, и стремиться к их уменьшению или увеличению. При низкокалорийном рационе организм человека не получит достаточного количества кальция, что повысит риск развития остеопороза, а также необходимое количество белка, витаминов и минеральных веществ. Правильно подобранное питание для конкретного человека поможет избежать многих проблем со здоровьем, в том числе снизит риск возникновения заболеваний сердечно-сосудистой системы, инсульта, рака, ожирения и остеопороза.

Стоит отметить, что для разработки рациона персонализированного питания необходимо иметь совсем другие наукоемкие системы. Включающие в себя сведения не только о химическом составе пищевых продуктов и нормах потребления пищевых веществ и энергии для дифференцированных групп людей в течении дня, но и обладать: 1) знаниями о научно-обоснованных принципах питания различных групп людей для профилактики или нивелировании конкретного вида заболевания; 2) конкретизированными медико-биологическими требованиями для профилактики или нивелировании конкретного вида заболевания; 3) сведениями об этнической принадлежности, культурных предпочтениях, состоянии здоровья, образе жизни, клинических факторах, физиологических реакциях на продукты / питательные вещества.

Метаболизм играет решающую роль в здоровье и заболевании человека, его модулируют внутренние (например, генетические) и внешние (например, диета и кишечная микробиота) факторы.

В работе [175] высказано предположение, что персонализированное питание необходимо осуществлять с учетом гликемических реакций. Уровень глюкозы в крови быстро растет в популяции, о чем свидетельствует резкий рост распространенности преддиабета и нарушения толерантности к глюкозе, которые, по оценкам, затрагивают только в США 37% взрослого населения [78]. Он также связан с другими проявлениями, коллективно называемыми метаболическим синдромом, включая ожирение, гипертонию, неалкогольную

жировую болезнь печени, гипертриглицеридемию и сердечно-сосудистые заболевания [109]. Таким образом, поддержание нормального уровня глюкозы в крови считается критическим для профилактики и контроля метаболического синдрома [151].

Потребление пищи является центральной детерминантой уровня глюкозы в крови, и поэтому для достижения нормального уровня глюкозы необходимо делать правильный выбор пищи, который индуцирует нормальные постпрандиальные (после еды) гликемические реакции. Постпрандиальная гипергликемия является независимым фактором риска развития T1DM [145], сердечно-сосудистые заболевания [105] и цирроз печени [134] и ассоциируется с ожирением [82], а также повышенная смертность от всех причин как в T1DM [85] и рак [117].

Особенности микробиома и метаболиты все чаще связываются с состоянием здоровья и болезнью [158, 176], и диета ценится как один из ключевых факторов этой взаимосвязи. Микробы, обитающие в желудочно-кишечном тракте человека, зависят от своих хозяев в качестве источников ферментируемого субстрата. Микробы метаболизируют конечные продукты пищеварения человека и неперевариваемые пищевые субстраты с образованием широкого спектра производных от диеты и вторичных метаболитов. Сами микробы и их метаболиты сигнализируют иммунной и нервной системам через известные и неизвестные механизмы, в конечном счете влияющие на физиологию человека и развитие или прогрессирование болезни. В отличие от известных отношений между основными питательными веществами и болезнями, которые сосредоточены на отношениях одного питательного вещества, таких как отношения между витамином С и цингой, эти новые отношения *диета-микроб-болезнь* и *диета-метаболит-болезнь* являются более сложными. Взаимоотношения между микробами и болезнями, вероятно, зависят от производства метаболитов, полученных из рациона питания, таких как короткоцепочечные жирные кислоты (SCFAs), или от производства

вторичных метаболитов, созданных микробами до поступления в циркуляцию хозяина. В то время как были выявлены механизмы для некоторых уникальных взаимоотношений диеты-микроба-метаболита [170, 115] и растущий объем данных свидетельствует о том, что микробиом играет важную роль в метаболизме лекарств [150]. Детальный обзор взаимосвязи диеты и микробиома представлен в работе Johnson A.J. et. al. [113].

Немаловажное значение имеет белок, особенно качественный белок. Это тоже нужно учитывать при оценке и разработке рациона питания. В работе [172] представлен анализ «оптимального» потребления белка у взрослого населения. В статье сделан акцент на группе «взрослые старше 18 лет без градации на пол и возраст».

Диетические рекомендации по белкам были сделаны почти 100 лет назад [157]. Однако, ответ на вопрос: “Сколько необходимо белка человеку?” остается открытым. Белок составляет жизненно важную часть состава тела и необходим для роста и развития [94]. Кроме того, диетический белок необходим в течение всей жизни, чтобы заменить необратимо окисленные аминокислоты, которые не могут быть синтезированы в организме, например, незаменимые аминокислоты (НАК) [173]. Наряду с этим, существует потребность в определенном количестве белка, чтобы обеспечить аминокислоты, которые могут быть произведены в организме, но не в такой степени, чтобы удовлетворить все потребности [94].

Диетические рекомендации по белкам основаны на высококачественных белках. Однако определение “качественный” не приводится. ФАО/ВОЗ создала консультации для составления качественных рейтингов белка. Первоначальная система оценки (1991 г.) была названа скорректированной аминокислотной оценкой переваримости белка. В 2013 г. ФАО/ВОЗ опубликовала описание улучшенного усваиваемого незаменимого аминокислотного сора (DIAAS) [102]. DIAAS для диетического белка основан на пропорции и профиле НАК в белке и истинной переваримости белка в кишечнике. Основная концепция

закключается в том, что высококачественный белок должен обеспечивать обилие НАК в профиле, который близко напоминает профиль индивидуальных требований НАК, и что белок должен быть легко усваиваемым. Цель DIAAS состоит в том, чтобы включить качество белка в диетическое планирование.

В работе [61] предлагается для составления «объективного» индивидуального рациона использовать типы телосложения: эктоморф, эндоморф, мезоморф [156, 155]. Согласно данной классификации, предложенной американским профессором Гарвардского университета У. Шелдоном (William Herbert Sheldon), можно разделить рацион питания человека по видам обмена веществ: 1) замедленный (эндоморф); 2) ускоренный (эктоморф); 3) регулируемый (мезоморф).

На саммите по персонализированному здоровью и питанию «NEWTRITION 2016» было отмечено, что успехи науки уже сейчас позволяют понять многие процессы, которые происходят в организме и являются прямой реакцией на употребление тех или иных продуктов. Гены определяют наши пищевые пристрастия, и в будущем диета необходимо составлять с учетом генетических особенностей человека.

В работе [52] подчеркивается, что определение биохимических путей взаимодействия пищи и генов позволит эффективно лечить неинфекционные заболевания (например, диабет, рак, патологии сердечно-сосудистой системы), а также предотвращать их развитие благодаря выявлению ранних маркеров нарушений в метаболизме и составлению индивидуального плана питания. Однако, несмотря на возможные генетические предрасположенности к ожирению, диабету, сердечно-сосудистым заболеваниям и раку, показано, что факторы окружающей среды играют существенную роль при развитии вышеперечисленных патологий. И для полноценного представления о механизмах влияния составляющих пищи (а также их комбинаций) на организм, и возможных разбросах такого влияния среди человеческой популяции ученым предстоит еще сделать много работы.

На данном этапе наиболее известные и распространенные в клинической практике генетические маркеры:

1) Гены-предикторы ожирения:

- PPRAG (склонность к ожирению за счет нарушения жирового обмена – накопление жиров при их поступлении с пищей);
- DRD2 (склонность к импульсивному приему пищи в ответ на стрессовые состояния, максимально выраженный эффект при генотипе A1/A1);
- FTO (определяет склонность к ожирению);
- MC4R (склонность к ожирению за счет переедания, из-за невосприимчивости к гормону, отвечающему за чувство насыщения);
- GLUT2 (склонность к ожирению за счет употребления большого количества простых углеводов);
- CD36 (склонность к ожирению за счет употребления большого количества жиров);
- ADRB2 (B2-адренорецепторы участвуют в мобилизации жира из жировых клеток для производства энергии в ответ на гормоны, (адреналин, норадреналин), в печени стимулируют гликогенолиз и выход глюкозы в кровь для восполнения энергетических потребностей; в скелетных мышцах усиливается распад гликогена; аллель Glu27 ассоциирован с повышенным риском ожирения при диете с высоким содержанием углеводов).

2) Гены –предикторы раннего атерогенеза:

- APOE (участвует в производстве, транспорте и утилизации холестерина в организме, рассматривается как фактор риска болезни Альцгеймера и ишемической болезни сердца);
- APOA5 (входит в состав ЛПВП и ЛПОНП и хиломикронов, ассоциирован с атеросклерозом, риском ожирения и метаболического синдрома);

- CETP (кодирует транспортер (белок-переносчик) эфиров холестерина. Его работа заключается в переводе холестерина из ЛПВП в ЛПНП, риск развития атеросклероза, деменции и болезни Альцгеймера).

3) Гены –предикторы метаболического синдрома и СД 2 типа:

- TCF7L2 (ген, отвечающие за предрасположенность к СД 2 типа).

- FABP2 (вариант белка 54Thr обладает повышенным сродством к длинноцепочечным жирам, что приводит к усилению транспорта триглицеридов в клетки тонкого кишечника, повышенному окислению жиров и устойчивости к инсулину);

- ADRB3 (у носителей варианта 191C (Arg64) снижен уровень липолиза в жировой ткани; этот вариант ассоциирован с висцеральным типом ожирения).

Таким образом, при разработки персонализированного питания недостаточно иметь только референтные показатели, «выведенные» в среднем для детерминированной группе пользователей, и сведения о химическом составе пищевых продуктов, блюд и кулинарных изделий.

1. Необходимо обладать знаниями о фенотипе человека, его метаболизме, микробиоме и т.д. Иметь представления о синтетических и исторических диетах, в том числе русской диете [70]. Наиболее известные диеты: вегетарианская [119, 98]; веганская [98]; среднеевропейская [152]; средиземноморская [171, 80]; DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension – диетологический подход к лечению гипертензии) [98]; высокобелковая [135]; безглютеновая; с высоким содержанием пищевых волокон [169]; диета для больных диабетом 2-го типа [129]; высокожировая/низкоуглеводная диета [128]; нездоровое питание (Unhealthy diet) [41].

2. Предусмотреть 1) модуль, направленный на взаимосвязь между болезнями и метаболическими особенностями в организме человека [153]; 2) модуль интеграции с Leigh map [146] для компьютерной диагностики диагноза гена-фенотипа для нарушений митохондрий. В настоящее время Leigh map

состоит из 87 генов и 234 фенотипов [116, 164]. Все эти знания должны в структурированном виде храниться в БД и быть надежным инструментом при проектировании рациона питания.

Еще одним направлением цифровой трансформации является распознавание образов.

Распознавание образов – активно развивающаяся область, потому что распознавание изображений нужно в разных областях: медицине, криминалистике, пищевой промышленности и т. д.

Как известно, понятие естественного интеллекта включает 13 способностей:

1) обнаружение существенного в данных «Интеллект – это распознавание существенного в данных, это инициатива и спонтанность» (Карл Ясперс «Allgemeine psychopathologie» (Общая психопатология), 1973);

2) порождение последовательностей «цель – план – действие»;

3) поиск посылок, релевантных цели рассуждений;

4) способность к рассуждению: вывод, следствие из посылок;

5) синтез познавательных процедур, производящих синтетические выводы – такие выводы, которые непосредственно из посылок не следуют и носят творческий характер: выводы по аналогии, индуктивные обобщения данных, выводы с помощью объяснения данных (абдукция), решение задач при помощи различных познавательных процедур;

6) способность рефлексии – оценка знаний и действий;

7) способность к объяснению – ответ на вопрос «почему?». Без этого вопроса нет человеческого познания;

8) аргументация при принятии решения;

9) познавательное любопытство и способность к распознаванию – ответ на вопрос «что это такое?»;

10) способность к обучению и использованию памяти;

11) способность к интеграции знания для образования концепций и теорий;

12) способность уточнения неясных идей и преобразования их в точные понятия: один понимает одно, другой понимает другое, и договориться они не могут. Поэтому такие идеи необходимо формулировать до точной, абсолютной и содержательной конструкции;

13) способность к изменению системы знаний при получении новых знаний и изменениях ситуации.

Стоит подчеркнуть, что только 2 интеллектуальные способности (пп. 9, 10 – распознавание и обучение) реализованы в технологии нейронных сетей.

Структура интеллектуальной системы² включает три основных блока – базу знаний, механизм вывода решений и интеллектуальный интерфейс [1].

В технологиях принятия решений интеллектуальная система – это информационно-вычислительная система с интеллектуальной поддержкой, решающая задачи без участия человека – лица, принимающего решение (ЛПР).

Существует следующая классификация нейронных сетей [1] (рисунок 8).

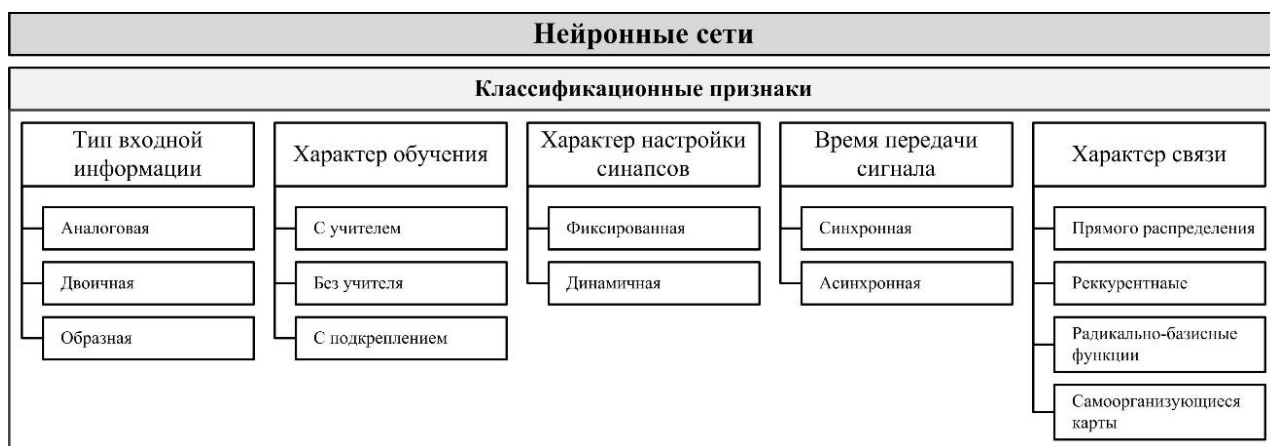


Рисунок 8 – Классификация нейронных сетей

² **Интеллектуальные системы** (англ. intelligent systems) – это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся принадлежащими к конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы.

Выбор типа сети (перцептрон³ Розенблата, сеть Хэмминга, сеть Кохонена, сверточная нейронная сеть, нечеткий многослойный перцептрон и т.д.) зависит от поставленной задачи. При решении задач распознавания образов и классификации, частным случаем которых является гистологический срез (микроструктура образца), чаще всего используются сверточные нейронные сети (CNN), многослойные перцептроны; при решении задач категоризации данных чаще применяется сеть Кохонена [28, 29].

CNN достигли большого успеха в распознавании изображений, в силу того факта, что они устроены наподобие зрительной коры головного мозга. Работа CNN обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к ещё более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенное. CNN в настоящее время нашли широкое применение при решении задач в области медицины. Приведем наиболее значимые примеры.

Алгоритм для эффективной диагностики рака груди на основе работы сверточной нейросети недавно разработали специалисты из Университета Неймегена (Нидерланды) [92].

В январе 2018 г в Стэнфордском университете собрали базу данных из более чем 40 тысяч рентгеновских снимков поврежденных конечностей. На этой базе данных обучили нейросеть, впоследствии доказавшую свою

³ **Перцептрон или персептрон** (англ. *perceptron* от лат. *perceptio* – восприятие) – математическая или компьютерная модель восприятия информации мозгом (кибернетическая модель мозга), предложенная Фрэнком Розенблаттом в 1957 году и впервые реализованная в виде электронной машины «Марк-1» в 1960 году. Перцептрон стал одной из первых моделей нейросети, а «Марк-1» - первым в мире нейрокомпьютером.

эффективность в определении травм конечностей и обогнавшую по этому показателю профессионального радиолога [148].

Компания Verily Life Sciences (холдинг Alphabet) разработала алгоритм, который определяет возраст, пол и различные медицинские показания (например, уровень артериального давления или индекс массы тела) пациентов по анализу их сетчатки [143]. Такой метод диагностики может помочь в прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний.

Крупные базы данных способствовали появлению алгоритмов глубокого обучения, которые в таких задачах, как выявление диабетической ретинопатии [110], рака кожи [100], сердечных аритмий [147], кровоизлиянии в мозг [108], пневмонии [149] и переломов бедра [104] обеспечивают эффективность на уровне эксперта.

Данные, на основании которых ИНС строят ответы, могут быть разнообразного вида, формата: термины, описывающие какие-либо ситуации, числа и величины, графики, двух- и трехмерные изображения и т.д.

Выводы по главе 1.

В настоящее время при разработке рационов питания необходимо учитывать не только пищевую и биологическую ценность, но и другие многочисленные факторы: медицинские, технологические, экономические, социальные и др.

По данным ВОЗ и Центра по контролю и профилактике заболеваний США (US Centers for disease control and prevention, 2009) за счет улучшения образа жизни, питания, физической активности и сокращения курения можно предотвратить случаи сердечно-сосудистых заболеваний на 80%, диабета 2-го типа и онкозаболеваний на 40%.

Решение индивидуально подобранного рациона питания с учетом множества параметров физиологического состояния, альтернатив и критериев требует системного анализа и формализации накопленных знаний, данных,

сведений в области разработки продуктов и рационов питания и применения высоких технологий.

Таким образом, *целью диссертационной работы* является определение направлений цифровой трансформации, теоретическое обоснование создания и применения человеко-машинных 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. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- анализ и систематизация наукоемких технологий в формировании продуктов питания с целью оценки их интероперабельности и возможности алгоритмизации;
- теоретическое обоснование формирования специализированных проблемно-ориентированных баз данных;
- разработка аналитического и программно-технического инструментария с учетом предметных областей их использования и современных методов обработки массивов информации, направленных на повышение эффективности управленческих процессов, протекающими в системе.
- составление концептуальных схем группирования пищевых продуктов и блюд по различным признакам с применением методов и алгоритмов кластерного анализа;
- разработка пошагового алгоритма создания «цифровых двойников» - имитационных моделей продуктов общего и специализированного питания и технологических процессов;
- создание имитационной модели ЖКТ для моделирования, прогнозирования и изучения превращений пищевых компонентов с учетом особенностей состава продукта, специфики его воздействия и особенностей пищеварения индивидуума;

- апробация разработанных инструментов применительно к объекту исследования.

Глава 2 ИТ-РЕШЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЧАСТНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Рассматриваются возможности применения информационных технологий и цифровых подходов к системной оценке и комплексной поддержке принятия решений при конструировании пищевых рационов и объективизации методов контроля. В качестве объекта рассматривается пищевая система. Под пищевой системой понимается система производства, распространения и потребления пищевых продуктов – от первичного производства до потребителя.

Объектами исследования также являются 1) процессы сбора, анализа и интеллектуальной обработки текущей и экспертной информации по продуктам заданного состава и методам контроля; 2) массивы неструктурированных данных (медико-биологические требования к питанию детерминированных групп потребителей, характеристики диетических столов, знания о компонентах пищи и их роли в профилактике и лечении алиментарных заболеваний).

Систему комплексной поддержки питания мы рассматриваем с позиций процессного подхода как единую цепь с 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 (рисунок 9).



Рисунок 9 – Система комплексной информационной поддержки производства пищевого продукта с заданными составом и свойствами

Система комплексной информационной поддержки производства пищевого продукта с заданными составом и свойствами входит в схему исследования (рисунок 10) и показана пунктирной линией, включает в себя группу функциональных модулей (подсистем), объединенных общей программной платформой.



Рисунок 10 – Схема исследования

Цветными цифрами (рисунок 9, 10) обозначены разработанные IT решения на этапах жизненного цикла пищевого продукта.

Подсистема информационного и интеллектуального обеспечения содержит параметрическое описание и модели различных групп населения; критерии и показатели качества, шкалы желательности, по которым прогнозируется качество проектируемого продукта; базы данных, содержащие нормы потребления ФАО/ВОЗ, а также нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации; базу данных основных физико-химических характеристик продуктов питания, сырья растительного и животного происхождения, таких как калорийность, витаминный количественный состав, химический состав (белки, жиры, углеводы, минеральные вещества), составы жирных кислот, незаменимых аминокислот на единицу массы продукта; информационные карты категорий и групп людей, параметры химического состава и свойств продуктов питания и биокомпонентов и др.

В подсистему информационного и интеллектуального обеспечения входит блок 5 «Типологизация ингредиентов, продуктов, кулинарных изделий и блюд по различным признакам», позволяющий проводить кластеризацию с целью анализа и систематизации информации по определённым дескрипторам, например, формирование списка разрешённых и неразрешённых продуктов с точки зрения различных заболеваний, а также подбора необходимых ингредиентов для будущей рецептуры с целью придания продукту определенной функциональной направленности.

Подсистема составления адекватного рациона питания обеспечивает формирование структуры и компонентов питания индивидуального потребителя, исходя из его состояния, с учетом общих научно-обоснованных принципов и конкретизированных медико-биологических требований для данной дифференцируемой группы. Осуществляется решение задачи структурной оптимизации рационов адекватного питания с учетом физиологических

особенностей организма, норм ФАО/ВОЗ и критериев оценки качества и адекватности рациона в конкретных случаях. Наряду с этим подсистема включает в себя структурную оптимизацию режима питания, дифференцированное распределение рациона питания по отдельным приемам пищи, времени приема и интервалам между ними, а также распределение калорийности по приемам пищи в зависимости от возраста, пола, группы интенсивности труда, времени года.

Подсистема разработки многокомпонентного пищевого продукта объединяет задачи рецептурной оптимизации, учитывающие региональные, этнические и социальные условия; ингредиентной оптимизации химического состава с учетом физиологических особенностей; моноструктурной оптимизации продукта; многокритериальную оценку адекватности и качества.

В подсистему разработки многокомпонентного пищевого продукта входят блоки 1 «Определение незаявленных компонентов в продукте с помощью нейросетевых технологий»; 2 «Биоусвояемость основных пищевых нутриентов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ)»; 3 «Объективная оценка сенсорных характеристик пищевого продукта»; 5 «Цифровой двойник» пищевого продукта», «Оценка качества белка пищевого продукта».

Блок под цифрой 1 «Определение незаявленных компонентов в продукте с помощью нейросетевых технологий». На примере цифровизации процесса качественной и количественной оценки гистологических препаратов показана возможность устранить субъективизм в выполнении анализа. Формализация задачи и построение математического представления путем обучения сети на экспериментальных данных позволит избежать «идеализации» полученных результатов. Для этого использовали потенциал искусственной нейронной сети.

Блок под цифрой 2 «Биоусвояемость основных пищевых нутриентов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ)» показана возможность применения имитационного моделирования физиологических процессов усваивания пищи. Для изучения переваривания пищевых компонентов и усваивания их ЖКТ

человека или животного разработан цифровой двойник желудочно-кишечного тракта. Желудочно-кишечный тракт 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.

Адекватность органолептической оценки существенно зависит от влияния человеческого фактора с индивидуальными психофизиологическими возможностями сенсорного восприятия и нуждается в объективности экспертных оценок с учетом согласованности мнений и опыта определенной группы экспертов. В связи с этим *блок под цифрой 3 «Объективная оценка сенсорных характеристик пищевого продукта»* включает адекватную интерпретацию и объективизацию индивидуальных оценок дегустаторов с применением цифровых технологий в оценке результатов дегустации пищевого продукта и использованием математического аппарата (методов ранговой корреляции и многофакторного дисперсионного анализа).

Для разработки «умных» пищевых продуктов, особенно оказывающих функциональное воздействие на организм человека, нивелирующих риски возникновения заболевания, необходимо учитывать множество различных факторов (физико-химических, структурно-механических, функционально-технологических и т.д.). *Блок под цифрой 5 «Цифровой двойник» пищевого продукта»* включает разработку виртуальной модели продукта или цифрового двойника продукта, позволяющего осуществить «разыгрывание» (имитацию) всех возможных структурных соотношений и ограничений.

Другой блок под цифрой 5 «Оценка качества белка пищевого продукта» включает расчет дополнительных показателей, характеризующих качество белка. Вычисляются не только широко используемые в практике показатели (аминокислотный скор, коэффициент различия аминокислотного состава,

обобщенный коэффициент утилитарности аминокислотного состава, коэффициент сопоставимой избыточности, биологическая ценность), но и определяет индекс незаменимых аминокислот (ИНАК), рассчитывает показатель Карпаци-Линдера-Варги, а также показатель аминокислотного соответствия белка для геродиетических продуктов.

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. Используемая методология и методы отражены в главе 3.

Реализация проекта осуществлялась в программной среде Embarcadero Delphi на языке объектно-ориентированного программирования Delphi, а также на языке программирования R и Python.

Основные этапы работы выполнялись на базе ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, а также на базе проблемной научно-исследовательской лаборатории электрофизических методов обработки пищевых продуктов (ПНИЛЭФМОПП) Московского государственного университета прикладной биотехнологии (ныне Московский государственный университет пищевых производств), на базе кафедры «Телематика» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Глава 3 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для составления оптимального рациона питания с учетом «паспорта здоровья» человека, риска заболеваний и статуса желудочно-кишечного тракта используется диалоговый алгоритм (рисунок 11). По описаниям медико-биологического состояния человека, а также биомаркерам формируется параметрическая модель его адекватного питания в виде конкретных параметров, норм и соотношений требуемых пищевых веществ и компонентов в сутки.

Структурная оптимизация рациона питания, связанная с изменением соотношений и пропорций между потребляемыми продуктами, осуществляется с применением квадратичных критериев [27] минимального отклонения от эталонной структуры множества показателей нутриентной адекватности. Обобщенный вид критерия:

$$\sum_{k=1}^n (B_k^0 - \sum_{j=1}^m b_{kj} y_j)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

где y_j – массовая доля (объем) j -го продукта в рационе питания; b_{kj} – удельное содержание k -го элемента химического состава j -м продукте; B_k^0 – нормативное содержание k -го элемента в рационе питания. При ограничениях: 1) по общему объему суточного рациона V ; 2) по допустимым пределам изменения массовой доли (объема) j -го продукта в рационе питания.

при ограничениях:

В качестве критериев или ограничений могут также использоваться критерии переваримости белков; адекватности белкового питания, соответствия химического состава и энергетической ценности питания объему рациона и возрастным потребностям организма. Важными критериями также являются критерии, оценивающие здоровье человека.

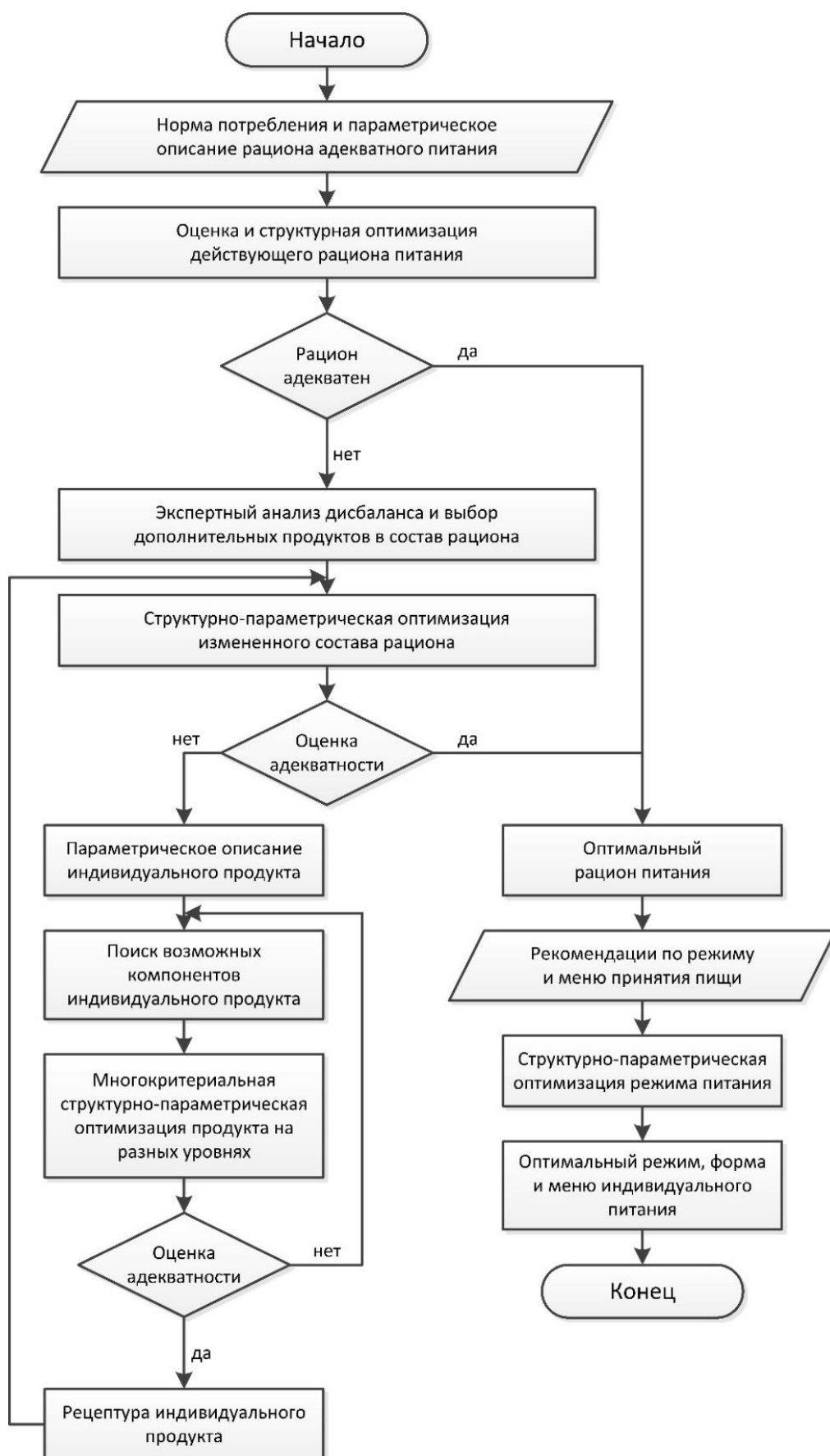


Рисунок 11 – Диалоговый алгоритм структурно-параметрической оптимизации продуктов заданного состава и свойств

- критерий переваримости белков

$$P(\pi) = \left(\pi^0 - \frac{\sum_{j=1}^m \pi_j b_j y_j}{\sum_{j=1}^m b_j y_j} \right)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

где π^0 – переваримость белков в эталонном продукте, *мг. тирозина/г. белка*;

π_j – переваримость белков j -го компонента, *мг. тирозина / г. белка*;

- критерий адекватности белкового питания

$$PBA = \frac{AZOT_M}{AZOT_{OB}} * 100(\%) \rightarrow \max \quad (3)$$

при

$$AZOT_M = \left(AZOT_{BAL} - \frac{BELOK_{VVED}}{6,25} + 4 \right) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где PBA – показатель белковой активности (%);

$AZOT_M$ – азот мочевины (г);

$AZOT_{OB}$ – общий азот (г);

$AZOT_{BAL}$ – азотистый баланс (г/сутки);

$BELOK_{VVED}$ – введенный белок;

- критерий недостаточности альбумина

$$\sum_{i=1}^N (alb_0 - alb_i)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где N – число наблюдений пациента;

alb_0 - стандартное содержание альбумина в крови пациента;

$30 \text{ (г/л)} < alb_0 < 35 \text{ (г/л)}$ – легкая недостаточность;

$25 \text{ (г/л)} < alb_0 \leq 30 \text{ (г/л)}$ – средняя недостаточность;

$alb_0 \leq 25$ – тяжелая недостаточность;

alb_i – содержание альбумина в крови пациента в i -ое наблюдение;

- критерий недостаточности трансферрина

$$\sum_{i=1}^N (Trf_0 - Trf_i)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

где N – число наблюдений пациента,

Trf_0 – стандартное содержание трансферрина в крови пациента;

$1,8 \text{ (г/л)} < Trf_0 < 2,0 \text{ (г/л)}$ – легкая недостаточность;

$1,6 \text{ (г/л)} < Trf_0 \leq 1,8 \text{ (г/л)}$ – средняя недостаточность;

$Trf_0 \leq 1,6 \text{ (г/л)}$ – тяжелая недостаточность;

Trf_i – содержание трансферрина в крови пациента в i -ое наблюдение.

- критерий недостаточности лимфоцитов

$$\sum_{i=1}^N (Lmf_0 - Lmf_i)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

где N – число наблюдений пациента;

Lmf_0 – стандартное содержание лимфоцитов в крови пациента;

$80 \text{ (} 10^6/\text{л)} < Lmf_0 < 90 \text{ (} 10^6/\text{л)}$ – легкая недостаточность;

$70 \text{ (} 10^6/\text{л)} < Lmf_0 \leq 80 \text{ (} 10^6/\text{л)}$ – средняя недостаточность;

$Lmf_0 \leq 70$ – тяжелая недостаточность;

Lmf_i – содержание лимфоцитов в крови пациента в i -м наблюдении.

В случаях (4)-(7) необходимо установление связей между критериальными оценками и параметрами химического состава рациона питания и включаемых в него продуктов аналогично критериям (2)-(3).

Минимизацию возможного рассогласования между параметрами нормативного и предлагаемого рационов осуществляется методами многокритериальной оптимизации с формированием Парето-оптимального множества решений по формализованным выше критериям.

Многокритериальный выбор оптимального рациона. Общая постановка задачи многокритериального выбора оптимального рациона имеет следующий вид:

$a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in A$ - множество альтернатив (рационов питания)

$F_i(a_j) \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}$ - множество критериев оценки рационов.

Если лучшей альтернативе (a_j) соответствует минимум критерия $F_i(a_j)$, то поиск оптимального рациона питания сводится к минимизации векторного критерия $F(A)$ на множестве альтернатив A :

$$F(A) = \{F_1(a_j), F_2(a_j), \dots, F_i(a_j), \dots, F_m(a_j)\} \rightarrow \min \quad a \in A \quad (8)$$

В случае сравнения двух рационов $a_i \in A$ и $a_j \in A$, при условии $F_i(a_i) \leq F_j(a_j)$ для всех $i, j = \overline{1, m}$, очевидно, что рацион a_i не хуже чем рацион a_j и, если существует такое $i = \overline{1, m}$, что $F_i(a_i) < F_i(a_j)$, то рацион a_i лучше рациона a_j .

Если для пары рационов нельзя установить предпочтение, то такие рационы называют *несравнимыми*. Решение является *оптимальным по Парето*, если не существует другого решения, улучшающего значение одного из критериев без ухудшения при этом других критериев. Так как Парето-оптимальное решение может быть не единственным, то возникает понятие *Парето-оптимального множества решений* как множества недоминируемых альтернатив.

Пусть $WP(A)$ - множество несравнимых рационов, тогда для $a^* \in A$ и любого другого $a \in A$ всегда найдется такой критерий $F_i(a)$ $i = \overline{1, m}$ для которого $F_i(a^*) < F_i(a)$, то можно утверждать, что рационы питания представляют собой Парето-оптимальное множество

$$WP(A) = \{a^* | \forall a \in A (\exists i = \overline{1, m} [F_i(a^*) < F_i(a)])\} \quad (9)$$

В связи с этим для заданного рациона получаем множество альтернативных решений, соответствующих экстремальным значениям отдельных критериев с невозможностью дальнейшего улучшения других критериев без ухудшения данного.

Для оценки и выбора лучшей альтернативы (рациона) составляется «критериальная таблица» с множеством сравниваемых альтернатив (таблица 2).

Таблица 2. – Критериальная матрица альтернатив

	F_1	F_2	...	F_i	...	F_m
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1i}	...	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2i}		x_{2m}
...	...	...	...	...	...	...
A_j	x_{j1}	x_{j2}	...	x_{ji}	...	x_{jm}
...	...		...	...	...	...
A_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{ni}	...	x_{nm}

где x_{ij} - оценка i -ой альтернативы (рациона) a_i по критерию j -му критерию (F_j)
 $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$.

Стратегия многокритериального выбора оптимальной альтернативы (рациона) сводится к сортировке критериев по подмножествам и значимости, формированию дополнительных условий и, собственно, к процедуре выбора.

Для построения бинарного предпочтения экспертом в данной области каждому из критериев F_i назначается вес P_i , характеризующий его важность.

Для сравнения альтернатив (рациона) a_i и a_j полное множество критериев разбивается на три подмножества $\{I_+, I_-, I_=\}$:

$I_+(a_i, a_j)$ - критерии, по которым рациона a_i превосходят рациона a_j ;

$I_=(a_i, a_j)$ - критерии, по которым рациона a_i и рациона a_j имеют эквивалентные оценки;

$I_-(a_i, a_j)$ - критерии, по которым рациона a_j превосходят рациона a_i .

Далее экспертным путем определяются относительная важность $P_+ ij, P_ = ij, P_- ji$ каждого из этих подмножеств. Кроме этого, задается некоторый порог C и считается, что рациона a_i превосходит рациона a_j только в том случае, когда функция f_s (индекс согласия) удовлетворяет условию

$$f_s(P_+ ij, P_ = ij, P_- ji) \geq C \quad (10)$$

Важность групп критериев $I_+(a_i, a_j), I_=(a_i, a_j), I_-(a_i, a_j)$ определяется как сумма весов, входящих в них критериев

$$P^* = \sum p_l \quad (11)$$

где $* \in \{+, -, =\}; l \in I^*(i)$

Дополнительно формируются условия, учитывающие не только порядок следования оценок рациона a_i и a_j по критериям адекватности $F_i(A)$, но и значения их разностей

$$d_{ij} = \{F_k(a_i) - F_k(a_j)\}, \quad i \neq j; \quad i = \overline{1, m}; k = \overline{1, n} \quad (12)$$

Эти условия, называемые *индексом несогласия*, могут быть оценены в виде $d_{ij} \leq d$, где d – пороговое значение индекса несогласия.

Отношение предпочтения (R) оптимальности рационов определяется условием

$$a_i R a_j \Leftrightarrow [f_s(P_{+ij}, P_{=ij}, P_{-ji}) \geq C] \wedge [d_{ij} \leq d] \quad (13)$$

Предлагается не выделять недоминирующие варианты рационов, а несколько расширить подмножество путем выделения в исходном множестве ядра, все альтернативы которого несравнимы между собой, и любой вариант, невошедший в ядро, доминируется хотя бы одной альтернативой ядра. Дальнейшее усечение вариантов может быть достигнуто заданием других более жестких ограничений, например, увеличением порогового значения индекса согласия C и уменьшением порога индекса несогласия.

Если в результате структурно-параметрической оптимизации параметрические расхождения не минимизируются до приемлемого уровня, следует подбор новых необходимых и желаемых продуктов из базы данных «Пищевые продукты» [46], отвечающих указанным свойствам и ограничениям, с повторением оптимизации структуры возможного рациона питания конкретного субъекта.

Включение дополнительных продуктов в действующий рацион связан с отысканием в его новом составе максимально дефицитного k -го или избыточного l -го элемента с максимальным остаточным отклонением от нормы [131]. Далее в случае дефицита выявляется альтернативный $n+1$ –й продукт с максимальным удельным содержанием k -го элемента для включения его в рацион за счет сокращения массовой доли p -го продукта с минимальным удельным содержанием этого элемента. Требуемая массовая доля альтернативного продукта $\Delta y_{k,n+1}$ по k -му элементу в рационе рассчитывается как:

$$\Delta y_{k,n+1} = \frac{\Delta x_k}{b_{k,n+1}}, \quad (14)$$

где Δx_k - избыточная величина k -го элемента в рационе;

$b_{k,n+1}$ - удельное содержание k -го элемента в $n+1$ -м продукте.

Тогда возможный структурный сдвиг при ограничениях с массовой долей дополнительного продукта y_{n+1} определится как:

$$y_{n+1} = \min\{\Delta y_{k,n+1}, \Delta y_{kp}^{min}\} \quad (15)$$

где $\Delta y_{kp}^{min} = y_p - y_p^{min}$ - допустимое уменьшение массовой доли p -го продукта.

Если новая альтернатива, оцениваемая по критерию (1), оказывается лучше полученной в результате предшествующей структурной оптимизации, она фиксируется как текущее оптимальное решение, и процедура повторяется для минимизации следующего параметрического отклонения.

Если включение нового продукта за счет сокращения массовой доли ранее введенных компонентов приводит к серьезным отклонениям других элементов пищевой и биологической ценности рациона, то устанавливается необходимое удельное содержание b_l l -го ингредиента в дополнительном продукте при неизменности других соотношений, и в базе данных «Пищевые продукты» [46] происходит поиск продукта с минимальными отклонениями удельного содержания l -го ингредиента от требуемого значения, т.е.

$$\min_{j=1,n} \{|b_{jl} - b_l|\}; \quad r = j_{min}$$

Из множества найденных альтернативных продуктов, удовлетворяющих поставленным условиям, выбирается вариант наиболее предпочтительный для субъекта, после чего осуществляется структурная оптимизация нового рациона и оценка его адекватности по функционалу качества [22, 26, 27]. Процесс корректировки рациона повторяется многократно до исчерпывания всех комбинаторных вариантов.

Если предложенный вариант рациона вновь оказывается неадекватным и несоответствующим нормам потребления пищевых веществ, дальнейшая минимизация расхождений достигается созданием и внесением дополнительного, индивидуального комбинированного продукта [22, 26, 27]

или добавок в зависимости от текущих отклонений параметров от норм (рисунок 11).

Оптимизация рациона питания осуществляется по алгоритму структурной оптимизации (1) и включает последовательное определение дисбаланса по k -му элементу при ограничениях по общему объему суточного рациона, по допустимым пределам изменения массовой доли (объема) j -го продукта в рационе питания и его минимизацию (в случае дефицита) путем увеличения до верхнего предела массовой доли одного продукта y_l с максимальным удельным содержанием b_{kl}^{max} дефицитного элемента и соответствующего уменьшения до минимума массовой доли другого продукта y_r с минимальным удельным содержанием b_{kr}^{min} k -го элемента. В случае избыточности структурный сдвиг следует в противоположном направлении. В результате перераспределения массовых долей выбранной пары продуктов до y_l^{max} и y_r^{min} получаем новое улучшенное значение критерия (1). Величина перераспределения массовых долей компонентов выбирается, исходя из ограничения по заданным пределам y_l^{max} и y_r^{min} , а также ограничения по общему объему рациона, как

$$\delta = \min\{\Delta y_k, \Delta y_{kmax}, \Delta y_{kmin}\}, \quad (16)$$

где $\Delta y_{kmax} = y_l^{max} - y_l$ - допустимое увеличение массовой доли l -го продукта; $\Delta y_{kmin} = y_r - y_r^{min}$ - допустимое уменьшение массовой доли p -го продукта.

Новые значения массовых долей определяются, как $y'_l = y_l + \delta$; $y'_p = y_p - \delta$ процедура повторяется с нахождением следующей пары продуктов для перераспределения их массовых долей до нахождения локального минимума по k -му элементу. Процедура продолжается до исчерпывания всех возможностей перераспределения массовых долей компонентов с получением в итоге альтернативного варианта рациона с минимальным отклонением k -го элемента от заданного нормативного значения в структуре ассортимента адекватного питания.

Выбор оптимальной альтернативы из множества найденных Парето-оптимальных решений соответствует минимальному значению критерия адекватности (1) или максимуму функционала качества

$$\Phi(x) = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \sum_{j=1}^{n_i} b_{ij} \left(\frac{x_{ij} - x_{ij}^0}{\Delta x_{ij}^k} \right)^2} \rightarrow \max \quad (17)$$

где n – число объединяемых показателей; x_{ij} , x_{ij}^0 – фактическое и желаемое значение; Δx_{ij}^k – предельное отклонение от желаемого значения для k -го уровня качества; b_{ij} – весовой коэффициент j -го параметра в i -ой группе; a_i – коэффициент значимости групп.

оценивающему суммарное остаточное отклонение полученной структуры показателей рациона от нормативного варианта по шкале от 0 до 1.

Оптимизация режима питания. После нахождения оптимального варианта рациона питания, адекватного нормам потребления пищевых веществ, производится распределение суточного рациона по отдельным приемам пищи в зависимости от характера трудовой деятельности и установившегося распорядка дня.

В этом случае математическая постановка задачи имеет вид

$$\sum_{r=1}^{3 \div 5} \sum_{k=1}^5 (B_{rk}^0 - \sum_{j=1}^n b_{kj} Y_{rj})^2 \rightarrow \min \quad (18)$$

где B_{rk}^0 – норма k -го показателя в r -й прием пищи;

Y_{rj} ; $j = \overline{1, n}$ – объем j -го продукта рациона в r -й прием пищи;

при ограничениях на:

- не повторяемость блюд в суточном рационе

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{j=1}^n \delta_{rj} = 1 \quad (19)$$

где δ_r – двоичная переменная, равная 1 при включении j -го блюда в r -й прием пищи и 0 в обратном случае;

r – индекс времени принятия пищи (завтрак, обед, ужин и т.п.);

- финансовые возможности пациента

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{j=1}^n c_j y_{rj} \leq C_{\text{сут}} \quad (20)$$

где C_j – стоимость единицы j -го продукта (руб);

$C_{\text{сут}}$ – предельная суточная стоимость рациона (руб);

Y_{rj} – рекомендуемое содержание j -го продукта в r -й прием пищи (г);

- предельную калорийность за завтраком, обедом и ужином

$$\sum_{r=1}^3 \sum_{j=1}^n w_j y_{rj} \leq W_{\text{сут}} \quad (21)$$

где $W_{\text{сут}}$ – заданная суточная калорийность рациона (ккал);

w_j – калорийность k -го продукта или блюда в r -й прием пищи (ккал);

или

$$\sum_{j=1}^{n_j} w_j y_{rj} = W_{\text{сут}} \beta_r, \quad r = \overline{1,3} \quad (22)$$

где β_r – доля суточной калорийности, приходящаяся на завтрак, обед и ужин, соответственно, так что $\sum_{r=1}^3 \beta_r = 1$;

- предельный объем завтрака, обеда и ужина,

$$\sum_{j=1}^{n_j} y_{rj} = V_{\text{сут}} \beta_r \quad (23)$$

где $V_{\text{сут}}$ – суточный объем рациона (г);

β_r – доля объема рациона в r -й прием (г);

- по верхней и нижней границам содержания k -го элемента химического состава в мгр (белков, жиров, углеводов, железа, марганца и др.)

$$B_k^{\min} \leq \sum_j b_{kj} y_j \leq B_k^{\max} \quad (24)$$

где b_{kj} – содержание k -го элемента химического состава в единице j -го продукта.

Задача нахождения оптимального режима питания решается аналогично оптимизации рациона при распределении по времени принятия пищи общих

показателей пищевой ценности (содержанию белка, жира, влаги, углеводов), содержанию витаминов и минеральных веществ; ингредиентам биологической ценности (содержанию аминокислот и жирных кислот); соотношениям между общим содержанием белка и белка животного происхождения и общим содержанием жира и жира растительного происхождения.

Дополнительные ограничения могут быть введены по соотношениям моноструктурных ингредиентов внутри i -ой группы; объемам белковой, крахмалистой, кислотной и щелочной пищи; фруктов и масел; заданной пропорции калорийности питания в течение дня [63].

Вместе с тем задача оптимизации рационов и режимов питания может быть сведена к структурным вариациям продуктами по i -му блюду. Сложность решения этой задачи заключается в невозможности изменения массовой доли одного продукта без изменения остальных долей. По одному из условий сумма всех массовых долей компонентов рациона должна равняться единице (выход на 100%), и чтобы выполнить это условие следует изменять не массовые доли продуктов, а их соотношения в рационе [18].

Объектно-ориентированный подход в знание-ориентированной системе индивидуального питания

Диетотерапия требует дифференцированного и индивидуального подхода. Правильно построить диету, которая в состоянии оказать терапевтическое воздействие как на пораженный орган, так и на весь организм в целом, возможно только с учетом общих и местных патогенетических механизмов заболевания, характера обменных нарушений, изменений органов пищеварения, фазы течения патологического процесса, а также возможных осложнений и сопутствующих заболеваний, степени упитанности, возраста и пола больного.

Рекомендуя тот или иной рацион, врач-диетолог должен использовать не только данные биохимии (белковый, углеводный и липидный статусы, иммунные показатели, биохимический анализ крови), физиологии

(дефицит/избыток массы тела, фактор активности и т.д.), гигиены питания (объем, масса, консистенция и температура пищи), но и учитывать индивидуальные параметры (возраст, антропометрические и калиперометрические данные) [130].

В связи с этим проблема лечебного питания может быть решена с помощью знание-ориентированной системы лечебного питания, которая поможет врачу быстро и четко спроектировать лечебный рацион пациента, учитывая состояние его питания, индивидуальные особенности (пол, возраст, трофологический статус, содержание в организме макро- и микронутриентов), а также множество внешних факторов.

Основным направлением системы лечебного питания является проектирование лечебных рационов питания и диагностика заболеваний.

Создание знание-ориентированной системы связано с накоплением базы знаний, содержащей базовые концепции и отношения между ними: регион проживания, фактор активности, фактор увечья (операции, переломы костей, черепно-мозговые травмы), текущее состояние питания, антропометрические данные, калиперометрические показатели, показатели трофологического статуса, показатели макро- и микронутриентного статуса, показатели витаминного статуса, а также базу данных о химическом составе (белок, влага, жир, углеводы, витамины, минеральные вещества) [19], о физиологических свойствах, пищевой, биологической и энергетической ценностях и других характеристиках продуктов питания.

Эти данные в базе знаний представляются в виде структурно-параметрических матриц взаимосвязей [46] (таблица 3), объединяющих три основных блока: физиологическое состояние пациента; показатели рациона питания; факторы внешней среды, а также множество связей внутри блоков и между блоками и группами.

Таблица 3. – Фрагмент структурно-параметрической модели питания (S – наличие связи, N – отсутствие связи)

Питание при заболеваниях желудочно-кишечного тракта					
	Факторы внешней среды		Показатели пациента		...
	Регион проживания	Фактор активности	Белковый статус	Иммунный показатель	...
Регион проживания	S	N	S	S	...
Фактор активности	N	S	S	S	...
...	...			...	...
Белковый статус	S	S	S	S	...
Иммунный показатель	S	S	S	S	...
...	...			...	...

Каждый отдельный блок имеет свои параметры и атрибуты. Так, например, блок «Физиологическое состояние пациента» включает возраст, пол, антропометрические данные – масса тела, рост, индекс массы тела, окружность плеча; калиперометрические показатели – содержание жира, толщина складки над 2-мя сантиметрами от пупка, толщина складки над бицепсом и т.д.

В качестве формализованных характеристик связей между параметрами матриц структурно-параметрических характеристик могут быть использованы экспертные оценки, коэффициенты корреляции, простой и множественной регрессии; оценки влияния, найденные в результате активного эксперимента, а также возможные функции, соотношения и алгоритмы пересчета.

В таблице 4 представлен фрагмент модели с наиболее связанными факторами, с характеристиками взаимосвязей, отмеченными точками.

Таблица 4. – Фрагмент модели с наиболее связанными факторами

	Показатели физиологического состояния пациента						Показатели рациона питания				Показатели внешних факторов	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Масса тела	1	•	•	•	•		•	•		•		•
2. Рост	•	1	•									
3. Индекс массы тела	•	•	1									
4. Содержание жира				1						•		
5. Окружность плеча					1							
6. Общий белок						1	•		•			
7. Содержание белка в рационе							1		•			•
8. Содержание влаги в рационе								1				
9. Содержание аминокислот в рационе							•		1			
10. Энергетическая ценность рациона							•			1		
11. Регион проживания											1	
12. Фактор активности	•			•		•				•		1

Отыскание коэффициентов влияния в виде сопоставимых количественных характеристик осуществляется известными методами экспертных оценок, регрессионного анализа и планирования эксперимента в зависимости от степени априорных представлений о физических законах связей между показателями состояния.

Первоначально найденные коэффициенты влияния можно уточнить и дополнить в процессе эксплуатации системы лечебного питания путем статистической обработки результатов наблюдений.

Одна из важнейших функций системы лечебного питания связана с накоплением знаний с формализацией опыта врача, специализирующихся в диетотерапии.

В системе лечебного питания знания организуются в виде множества правил в форме «ЕСЛИ....ТО».

Например, **ЕСЛИ** 1. Индекс массы тела меньше $17,5 \text{ кг/м}^3$;

2. Окружность плеча меньше 23 см;

3. Толщина складки над трицепсом меньше 8,4 мм;

4. Окружность мышц плеча меньше 20,5 см;

5. Альбумин меньше 30 г/л;

6. Трансферрин меньше 1,8 г/л;

7. Лимфоциты меньше 1,5 тыс.

ТО можно предположить (с определенной степенью достоверности) наличие у пациента средней недостаточности питания.

Алгоритм поиска решений в знание-ориентированной системе лечебного питания связан с диагностикой состояния здоровья человека (рисунок 12), включающий в себя расчет на основе физиологических показателей пациента X_i , и показателей внешних факторов X_p ,

- *прогностического индекса риска*

$$\text{PIR}(\%) = 100 - 1,5A - \text{ОР}$$

где А – альбумин в крови (г/л), ОР – окружность плеча (см);

- *основного энергообмена*

$$\text{ЕОО (мужчины)} = 66 + 14,7\text{MT} + 5\text{Р} - 6,8\text{В},$$

$$\text{ЕОО (женщины)} = 65 + 9,6\text{MT} + 1,8\text{Р} - 4,7\text{В}$$

где MT – масса тела, Р – рост, В – возраст;

- *действительных расходов энергии*

$$\text{DRE (ккал/сутки)} = \text{ЕОО} * \text{FA} * \text{FU} * \text{TF} * \text{DMT}$$

где FA – фактор активности, FU – фактор увечья, TF – термальный фактор, DMT – дефицит массы тела,

с целью дальнейшего определения потребностей пациента в белках, жирах и углеводах.

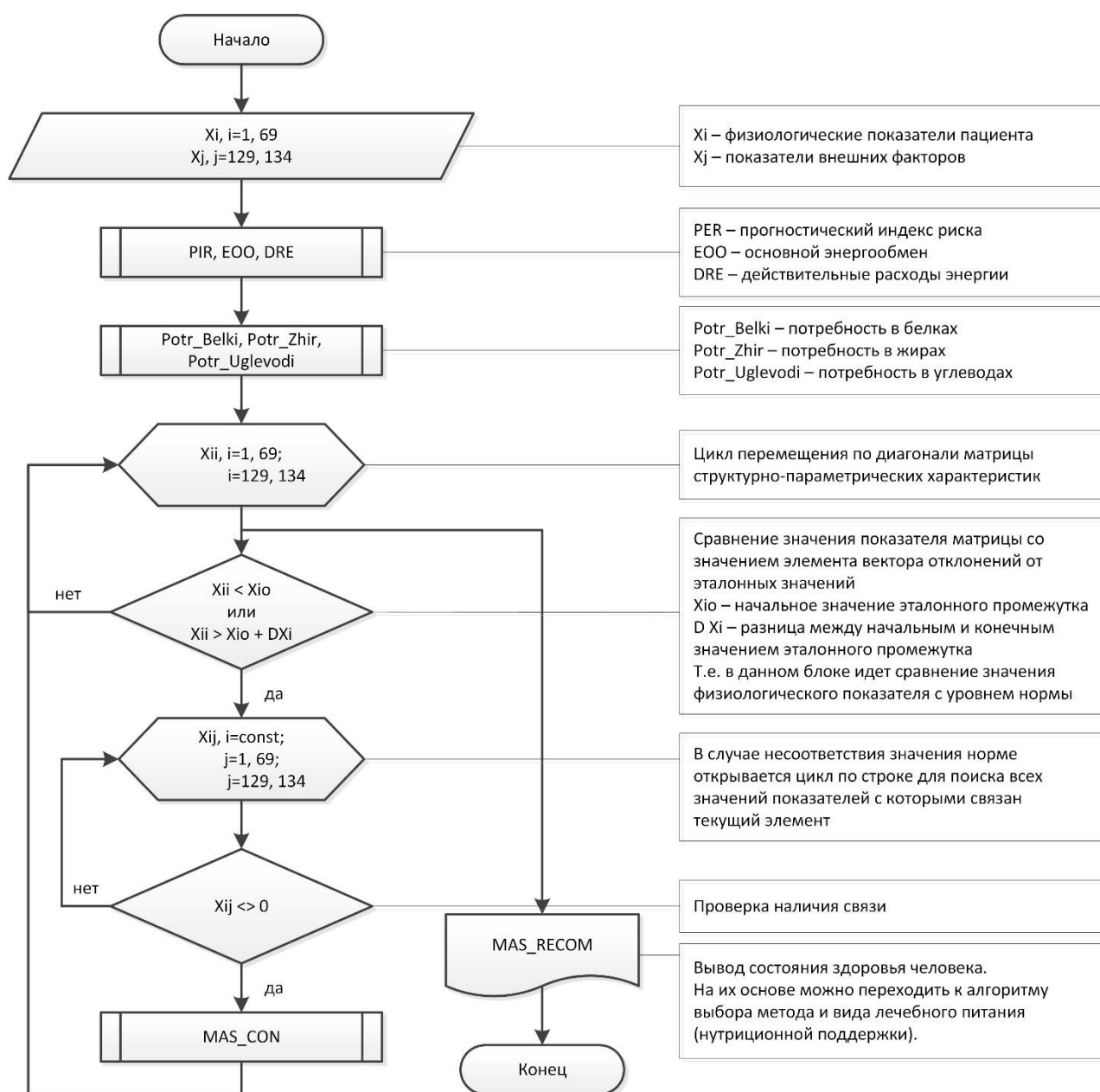


Рисунок 12 – Блок-схема алгоритма идентификации состояния здоровья человека

Процедуру диагностики составляют поиск отклонений показателей состояния от норм ФАО/ВОЗ Δx_i ; $i = \overline{1, n}$ и формирование структурно-параметрической ситуационной модели текущего состояния здоровья человека путем умножения вектора отклонения Δx_i на матрицу взаимосвязей vl_{ij} ; $i, j = \overline{1, n}$

$$\begin{vmatrix} \Delta x_1 & vl_{12}\Delta x_2 & \dots & vl_{1n}\Delta x_n \\ vl_{21}\Delta x_1 & \Delta x_2 & \dots & vl_{2n}\Delta x_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ vl_{n1}\Delta x_1 & vl_{n2}\Delta x_2 & \dots & \Delta x_n \end{vmatrix}$$

где Δx_i – отклонение i -го показателя от нормального уровня, vl_{ij} – характеристика влияния i -го показателя состояния здоровья на j -й.

Далее диагностическая процедура сводится к циклическому процессу перемещения по диагонали ситуационной матрицы и сравнению значений диагональных элементов с эталонными (нормативными) значениями. В случае отклонения Δx_k , следует просмотр k -ой строки с регистрацией непосредственных причин $vl_{ij}\Delta x_k$; $i, j, k = \overline{1, n}$ данного отклонения и формированию контура связей (рисунок 13) элементов, входящих в траекторию взаимодействия.

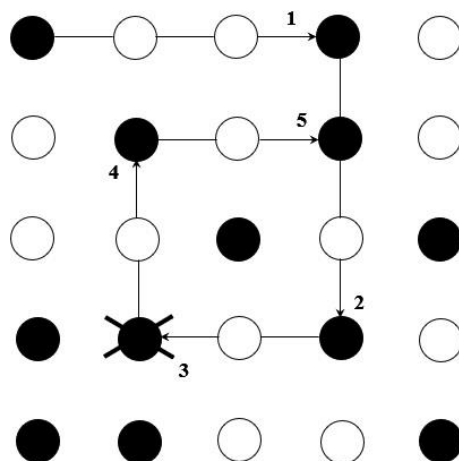


Рисунок 13. – Фрагмент контура связей элементов (✕ - связь, вызывающая заикливание)

Ветви контура связей сохраняются в отдельный массив, представляющий номера элементов, входящих в траекторию взаимодействия. При совпадении хотя бы двух элементов массива номеров искусственно разрывается последнее звено контура связей и продолжается движение по строке до выявления конечной причины.

Алгоритм идентификации содержит (рисунок 14) блок формирования ситуационной матрицы и процедуру поиска причин аномального состояния

системы. Процедура представляет собой цикл перебора независимых отклонений, внутри которого происходит отыскание максимального элемента в строке, запоминание его порядкового номера p и перехода на p -ю строку с повторением поиска максимального элемента этой строки.

Для обнаружения возможного заикливания причинно-следственных связей формируется массив t_l индексов диагональных элементов, входящих в траекторию взаимодействия, и при совпадении двух элементов этого массива следует сигнал «цикл». При этом причина может оказаться внутри или вне контура цикла. Для выхода из причинно-следственного цикла и продолжения поиска исходной причины разрывается последнее звено обратной связи, т.е. элемент $S_{qp} = 0$, с запоминанием его значения $f_g = S_{qp}$ и адрессов в индексных массивах $Ind_{q1}; Ind_{q2}$. Тогда при повторном переборе элементов q -й строки процедура либо остановится на последнем звене цикла (если причина лежит в контуре цикла), либо пойдет дальше по ступеням взаимосвязей до следующей промежуточной или конечной причины, или нового цикла (рисунок 14). При переходе к выявлению причинно-следственной цепи следующего $k+1$ -го следствия прерванная связь j -го цикла предшествующей траектории связей восстанавливается, т.е. $S_{Ind_{j1}, Ind_{j2}} = f_j$.

Для нахождения воздействия других факторов на очередное k -е следствие первый максимальный вклад в его отклонение приравнивается к нулю и выбирается следующий по величине максимальный элемент k -ой строки, т.е. следующий по величине вклад в k -е следствие.

Ситуационная матрица S_{ij} позволяет также *прогнозировать ситуацию* по параметрам состояния конечного продукта при отклонении от норм показателей входных потоков, промежуточных состояний технологических режимов и управляющих воздействий.

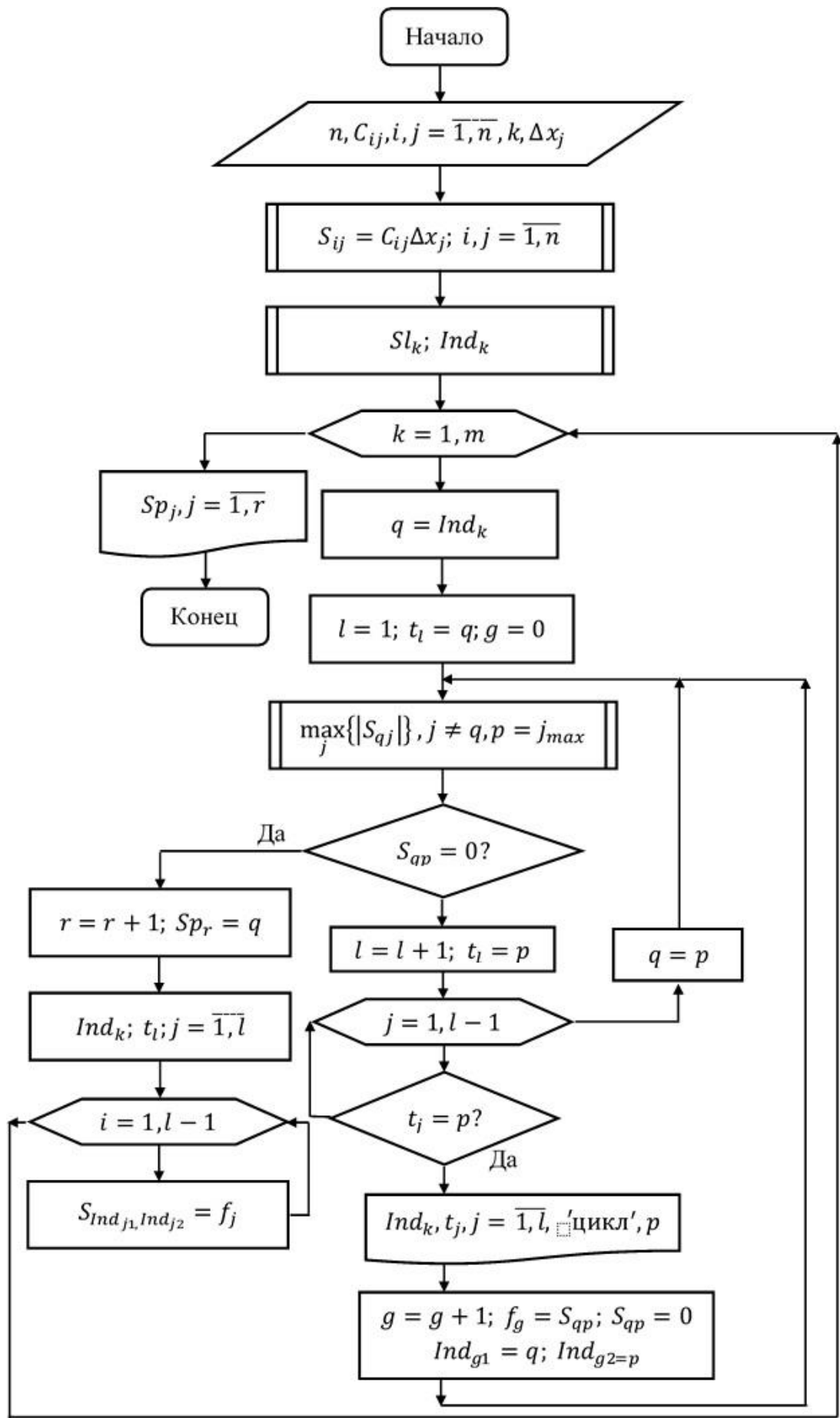


Рисунок 14 – Блок-схема алгоритма аномального диагностирования системы

Алгоритм прогнозирования представлен на рисунке 15.

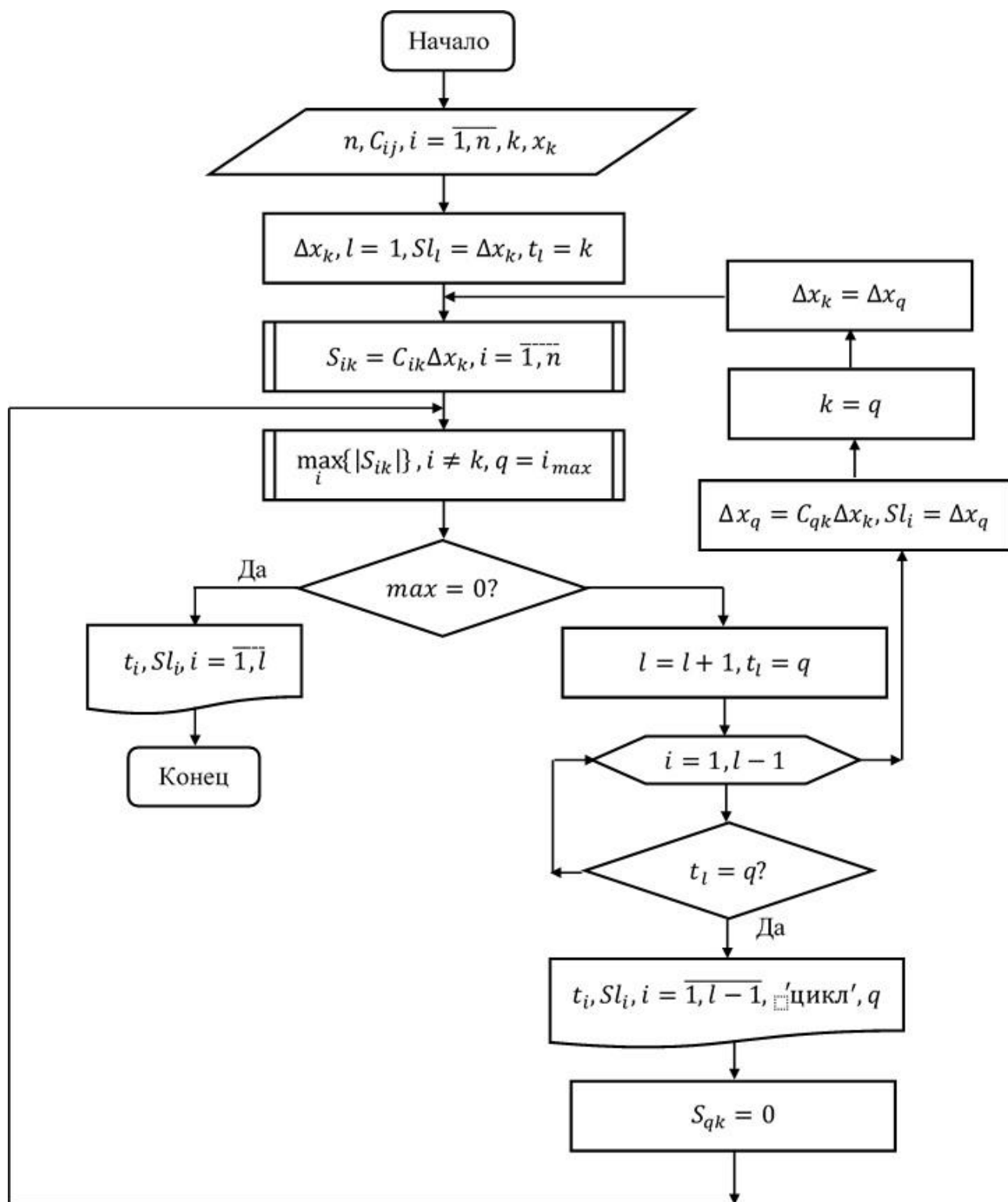


Рисунок 15 – Блок-схема алгоритма прогнозирования ситуации при отклонении k -го фактора в направлении наибольшего функционального влияния

Алгоритм прогнозирования связан с выявлением или имитацией отклонения какого-либо фактора x_k от нормативного значения, вычислением элементов k -го столбца ситуационной матрицы как

$$S_{ik} = C_{ik}\Delta x_k; \quad i = \overline{1, n} \quad (25)$$

и отысканием в нем максимального недиагонального элемента с индексом $q = i_{max}$ максимального следственного воздействия на q -й параметр (рисунок 15).

Если при этом $max = 0$, то данное k -е отклонение не имеет последствий в контролируемом n -факторном пространстве и после распечатки индексного массива t_l причинно-следственной траектории процедура заканчивается. При $max \neq 0$ следует запись индекса следственного отклонения q в очередной элемент индексного массива t_l и после проверки на заикливание – вычисление отклонения x_q (диагональный элемент q -й строки матрицы S_{ij}) как

$$\Delta x_q = C_{qk} \cdot \Delta x_k$$

с дальнейшим повторением процедуры нахождения max в q -м столбце при $k = q$ и $\Delta x_k = \Delta x_q$.

Процесс обнаружения возможных причинно-следственных циклов аналогичен алгоритму диагностирования аномальных ситуаций.

Для определения всех ветвей прогнозируемого состояния системы описанная процедура включается в цикл их последовательного перебора по принципу разматывания и сматывания нити в конечном лабиринте (рисунок 16). В этом случае при достижении тупикового элемента очередной ветви последнее ее звено прерывается, т.е. принимается $S(t_l, t_{l-1}) = 0$, с возвратом к предшествующей ступени $l = l - 1$ с элементом $k = t_{l-1}$ (сматывание нити) и нахождением следующего наибольшего вклада k -го элемента, т.е. другой ветви воздействия (разматывание нити $l = l + 1$). При достижении исходного пункта, т.е. при $l - 1 = 0$, процедура останавливается.

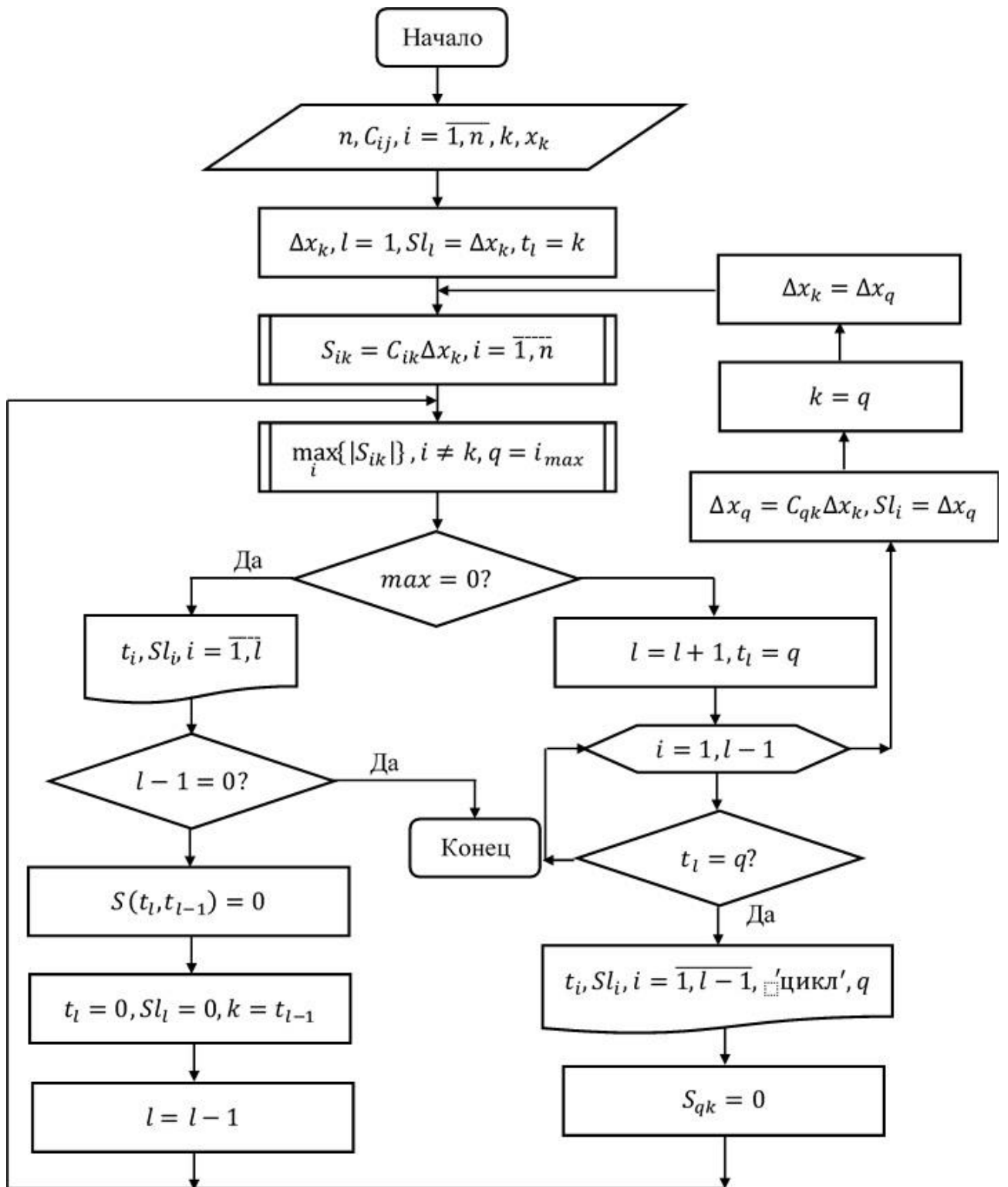


Рисунок 16. – Блок-схема алгоритма прогноза аномальной ситуации в больших системах

В случае нескольких входных отклонений, т.е. некоторого вектора $x_i, i = \overline{1, n}$ формируется матрица прогнозируемой ситуации с запуском процедуры прогнозирования последовательно для всех исходных отклонений.

После нахождения исходных причин аномального состояния субъекта врач назначает соответствующие рацион и режим питания, направленные на минимизацию влияния исходных причин аномального состояния человека.

В целом система лечебного питания предназначена служить ассистентом врачу (диетологу, гастроэнтерологу и т.д.), который не является узким специалистом в данной предметной области.

Оценка качества белка. Зависимость функционирования организма от количества незаменимых аминокислот используется при определении биологической ценности белков химическими методами. Наиболее широко используется метод Х.Митчела и Р.Блока [126], в соответствии с которым рассчитывается показатель аминокислотного сора. Аминокислота, скор которой имеет самое низкое значение, называется первой лимитирующей аминокислотой. Значение сора этой аминокислоты определяет биологическую ценность и, в определенной степени, степень усвоения белков.

Другой метод определения биологической ценности белков заключается в определении индекса незаменимых аминокислот (ИНАК). Метод представляет собой модификацию метода химического сора (Oser, [139]) и позволяет учитывать количество всех незаменимых кислот.

Качественный состав белкового компонента осуществляется с применением коэффициента сопоставимой избыточности (G), различий аминокислотного состава (КРАС), утилитарности (U) и биологической ценности.

Аминокислотный скор устанавливает предельно возможный уровень использования азота данного вида белка для пластических целей. Избыток других имеющихся в составе белка незаменимых аминокислот будет

использоваться как источник неспецифического азота либо для энергетических потребностей организма [56].

Коэффициент КРАС показывает среднюю величину избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем сора какой-либо незаменимой аминокислоты (избыточное количество незаменимых аминокислот не используется на пластические нужды, т.е. на биосинтез тканевых белков:

$$KPAС = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta PAC}{n} \quad (26)$$

где ΔPAC – различие аминокислотного сора:

$$\Delta PAC = C_i - C_{max}$$

где C_i – избыток сора аминокислоты;

C_{min} – минимальный из скоров незаменимых аминокислот исследуемого белка по отношению к эталону, %; n – количество незаменимых аминокислот.

Для обоснования коэффициента различий аминокислотного состава (КРАС) Митчелл [57] ввел два постулата. Во-первых, первая по своей дефицитности незаменимая аминокислота будет определять такую же степень использования всех других незаменимых аминокислот на биосинтез тканевых белков. Во-вторых, все избыточные незаменимые аминокислоты должны использоваться в качестве источника энергии, т.е. метаболически дефицитные незаменимые аминокислоты равноценны избыточны.

Биологическую ценность (БЦ) пищевого белка определяют по формуле

$$БЦ = 100 - KPAС, \% \quad (27)$$

Коэффициент утилитарности (U) аминокислотного состава имеет практическое значение, так как возможность утилизации аминокислот организмом предопределена минимальным скором одной из них. Коэффициент

утилитарности j -й незаменимой аминокислоты (доли единицы) рассчитывают по формуле

$$a_j = \frac{C_{min}}{C_j} \quad (28)$$

где C_j – скор j -й незаменимой аминокислоты по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), %:

$$C_j = \frac{a_j}{a_{эj}}$$

где a_j – содержание j -й незаменимой аминокислоты в продукте, г/100 г белка;

$a_{эj}$ – содержание j -й незаменимой аминокислоты, соответствующее физиологической необходимой норме (эталону), г/100 г белка.

Значение обобщающего коэффициента утилитарности аминокислотного состава (U), белка продукта, численно характеризующего степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону):

$$U = \frac{\sum_{j=1}^k A_j a_j}{\sum_{j=1}^k A_j} \quad (29)$$

где A_j – содержание j -й незаменимой аминокислоты в продукте, г/100 г белка или %;

$a_j = \frac{C_{min}}{C}$ – утилитарность j -й аминокислоты в белке;

C_{min} – минимальный скор незаменимой аминокислоты;

C – скор j -й незаменимой аминокислоты.

Данный подход эффективен, когда $C_{min} \leq 1$. Известно, что меньшая возможность утилизации незаменимых аминокислот в составе белка пищевого продукта организмами наблюдается, когда их скоры максимальны или наиболее близки к максимуму. Общее количество незаменимых аминокислот в белке оцениваемого продукта, которое из-за взаимно несбалансированности по отношению к эталону не может быть утилизировано организмом, служит для

оценки сбалансированности состава незаменимых аминокислот по показателю сопоставимой избыточности.

Коэффициент сопоставимой избыточности (G) содержания незаменимых аминокислот в белковом компоненте продукта характеризует суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых (из-за несбалансированности аминокислотного состава) на анаболические цели, в таком количестве белка оцениваемого продукта, которое по содержанию потенциально утилизируемых незаменимых аминокислот эквивалентно их количеству в 100 г эталонного белка. Определение значения G для конкретного вида продукта осуществляется по формуле

$$G = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j \cdot [1 - a_j])}{C_{min}} \quad (30)$$

где A_j – массовая доля j-й незаменимой аминокислоты в сырье, г/100 г белка;

C_{min} – минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологической норме (эталону), дол. ед.

Качественная оценка сравниваемых белков с помощью приведенных формализованных показателей заключается в том, что чем выше значения U или меньше значения КРАС (в идеале $U = 1$; КРАС = 0), тем лучше сбалансированы незаменимые аминокислоты и тем рациональнее они могут быть использованы организмом.

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава U достаточно полно отражает сбалансированность незаменимых аминокислот (НАК) по отношению к идеальному белку (эталону).

Более информативным показателем сбалансированности состава НАК в белке является показатель сопоставимой избыточности G, характеризующий суммарную массу незаменимых аминокислот, не используемых (из-за несбалансированности аминокислотного состава) на анаболические цели, в таком количестве белка оцениваемого продукта, которое по содержанию

потенциально утилизируемых незаменимых аминокислот эквивалентно их количеству в 100 г эталонного белка.

Различия в усвояемости могут быть обусловлены характерными особенностями, присущими пищевому белку (природа клеточной стенки), наличием других пищевых факторов, которые изменяют усвоение (клетчатка пищи и полифенолы, включая таннин), и химическими реакциями, изменяющими выделение аминокислот из белков в ходе ферментативных процессов [56].

Преимущество *индекс незаменимых аминокислот (ИНАК)* в том, что он учитывает количество всех незаменимых кислот в продукте. ИНАК рассчитывается по формуле:

$$\text{ИНАК} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_{эj}} \right)} \quad (31)$$

Показатель Карнаци-Линдера-Варги учитывает избыточный белок, при этом к избыточному белку прибавляется весь комплекс заменимых аминокислот (ЗАК).

Различается «идеальный» и «хороший» белок, однако имеет место неопределенность в оценке неполноценного белка:

$$K = 75 \cdot \sqrt[n]{\left[\prod_{i=1}^m C_i \left(\prod_{i=m+1}^n \frac{1}{C_i} \right) \right]} + 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - \sum_{i=1}^n C_i a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right) \quad (32)$$

где n – число незаменимых аминокислот;

m – число незаменимых аминокислот содержание, которых меньше, чем в эталонном (идеальном) белке;

$\sum_{i=1}^n C_i a_i$ – суммарное содержание незаменимых аминокислот в рассматриваемом белке;

$\sum_{i=1}^n a_i$ – суммарное содержание незаменимых аминокислот в эталонном (идеальном) белке.

Для «идеального» (при $C_i = 1$) белка $K = 100$,

для неполноценного белка ($C_m = 0$)

$$K = 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - \sum_{i=1}^n C_i a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right) \quad (33)$$

для «хорошего»

$$K = 75 \cdot C_m + 25 \cdot \left(2 - \frac{1 - \sum_{i=1}^n C_i a_i}{1 - \sum_{i=1}^n a_i} \right) \quad (34)$$

Критерий аминокислотного соответствия белка определяет соотношение массовых долей таких аминокислот, как метионин, цистин, триптофан, лизин с учетом роли изолейцина, лейцина, фенилаланина и тирозина, как геронтологических конкурентов триптофана

$$K = \frac{a_{\text{мет+цис}}}{a_{\text{лиз}} \cdot C_{\text{трп}}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^4 a_j}{\sum_{j=1}^4 a_{jэ}} = 1 \quad (35)$$

где K – коэффициент аминокислотного соответствия, дол. ед.;

$a_{\text{мет+цис}}, a_{\text{лиз}}$ – массовые доли метионина+цистина, лизина, г/100 г белка;

$C_{\text{трп}}$ – скор триптофана в белке геродиетического продукта по отношению к эталону ФАО/ВОЗ, дол.ед.;

$a_j, a_{jэ}$ – массовые доли j -ой аминокислоты в белке и эталоне ФАО/ВОЗ соответственно, г/100 г белка;

индекс j отождествляет соответственно: 1 – изолейцин, 2 – лейцин, 3 – фенилаланин, 4 – тирозин.

Органолептическую оценку качества продуктов питания определяли методами 1) ранговой корреляции; 2) многофакторного дисперсионного анализа

Метод ранговой корреляции применяется для формализации органолептической оценки качества готового продукта [125, 7] и связана с ранжированием каждым экспертом независимо друг от друга количественно неизмеримых факторов по убыванию или возрастанию их влияния на качество

продукта. Результаты ранжирования записываются в матрицу рангов x_{ij} ; $i=1,m$; $j=1,n$, указывающих место j -го параметра среди n других i -м экспертом.

Поскольку мнения экспертов-дегустаторов не всегда совпадают, для получения объективной оценки определяются суммарные ранги.

$$R_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}; \quad i = \overline{1, m} \quad (36)$$

и рассчитывается коэффициент конкордации W , характеризующий степень согласия и тесноту связи между оценками m независимых дегустаторов n параметров по формуле:

$$W = \frac{12S(d^2)}{m^2(n^3 - n)} \quad (37)$$

где $S(d^2)$ – дисперсия субъективных оценок относительно среднего балла по всей выборке

$$S(d^2) = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right]^2 \quad (38)$$

Коэффициент конкордации W изменяется от 0, при отсутствии связи между ранжировками экспертов, до 1 при полном их согласии в упорядочивании органолептических показателей влияния на функционал качества продукта Q .

После оценки значимости, показывающей, что значение W согласованности мнений дегустаторов не является случайным, каждому органолептическому показателю присваивается весовой коэффициент g_j , как средний по группе экспертов ранг:

$$g_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}; \quad j = \overline{1, n} \quad (39)$$

Весовые коэффициенты g_j отражают практический опыт квалифицированных специалистов-экспертов в сравнительной оценке степени влияния j -го фактора в общей интегральной оценке качества продукта Q

$$Q = \sum_{j=1}^n g_j x_j \quad (40)$$

и сравнении ее с эталонным значением Q_0 функционала.

Для наглядности вектор весовых коэффициентов представляется в виде столбцовой диаграммы и сенсорных профилограмм в соответствии с порядковым номером показателя или в порядке убывания абсолютных значений коэффициентов. Если распределение весов равномерно или близко к нему, то уровень априорных знаний невысок и необходимо дальнейшее накопление, и обработка статистических данных. В то же время, неравномерное распределение с экспоненциальным убыванием весов соответствует высокой степени априорных знаний о качестве продукта.

Многофакторный дисперсионный анализ. Для определения различия между двумя и более наборами данных с многоуровневой структурой экспертных оценок по всем связанным переменным одновременно могут быть использованы многофакторные статистические процедуры [162], позволяющие снизить уровень общей ошибки первого рода в оценке степени взаимосвязи между зависимыми переменными, а также установить комбинации сенсорных переменных, позволяющих различать образцы в случае не проявления отличия по каждой из них в отдельности [121].

При двухфакторном дисперсионном анализе используются группировки по двум факторам x_1 и x_2 , варьируемым, соответственно, на уровнях $i=1, \dots, n_1$ и $j=1, \dots, n_2$ для $k=1, \dots, q$ дегустаторов с оценками y_{ijk} , i -го уровня x_1 при j -м уровне x_2 k -м дегустатором и помимо экспериментальной ошибки учитывается дисперсия оценок, обусловленная индивидуальными различиями дегустаторов в группе. При этом порядок представления образцов A , B и C должен быть индивидуальным для каждого дегустатора, а их комбинации ABC , ACB , BAC , BCA , CAB , CBA распределены в равных пропорциях с обеспечением полной рандомизации.

По результатам опроса дегустаторов определяется общая выборочная дисперсия субъективных оценок дегустаторов по всем $n=n_1 \cdot n_2 \cdot q$ предъявлениям:

$$MS_{общ}^2 = \frac{1}{n_1 n_2 q - 1} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{k=1}^q (y_{ijk} - \bar{y})^2 \quad (41)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n_1 n_2 q} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{k=1}^q y_{ijk}$ – общий средний балл серий органолептических оценок.

Для оценки степени влияния тех или иных факторов на результаты эксперимента общая дисперсия раскладывается на факторные дисперсии $MS_{x_1}^2$ и $MS_{x_2}^2$, определяемые факторами x_1 и x_2 ; дисперсию взаимосвязанности оценок $MS_{x_1 x_2}^2$ и остаточную дисперсию MS_E^2 , связанную с влиянием других субъективных факторов, как сумма:

$$MS_{общ}^2 = MS_{x_1}^2 + MS_{x_2}^2 + MS_{x_1 x_2}^2 + MS_E^2 \quad (42)$$

где $MS_{x_1}^2 = \frac{n_2 q}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (\bar{y}_i - \bar{y})^2$; $\bar{y}_i = \frac{1}{n_2 q} \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{k=1}^q y_{ijk}$ $i = \overline{1, n_1}$ – средний балл i -го уровня x_1 ;

$$MS_{x_2}^2 = \frac{n_1 q}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (\bar{y}_j - \bar{y})^2$$

$\bar{y}_j = \frac{1}{n_1 q} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{k=1}^q y_{ijk}$ $j = \overline{1, n_2}$ – средний балл j -го уровня x_2 ;

$$MS_{x_1 x_2}^2 = \frac{q}{(n_1 - 1)(n_2 - 1)} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$$

– дисперсия средних баллов $\bar{y}_{ij} = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q y_{ijk}$; $i = \overline{1, n_1}$; $j = \overline{1, n_2}$ по сериям дегустационных оценок при заданных x_1 и x_2 относительно общего среднего $\bar{y}$ за счет фактора случайности с дисперсией MS_E^2 и взаимосвязанности с дисперсией $MS_{x_1 x_2}^2$;

$$MS_E^2 = \frac{1}{n_1 n_2 q - 1} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{k=1}^q (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 \quad - \quad \text{дисперсия рассеяния оценок}$$

дегустаторов за счет фактора случайности при постоянных x_1 и x_2 .

Общий алгоритм обработки результатов сенсорной оценки включает установление размера выборки из генеральной совокупности и формулирование нулевой (H_0) и альтернативной (H_1) гипотез; выбор уровня значимости ($\alpha=0,01$; или $\alpha=0,05$; или $\alpha=0,1$) и проведение оценки; сбор данных и вычисление суммарных статистических критериев; принятие или отрицание нулевой (H_0) гипотезы и интерпретация результатов.

Влияние фактора оценивается по критерию Фишера-Снедекора при выбранном уровне значимости, не только как отношение межгрупповой дисперсии оценок от взаимосвязанности факторов к внутригрупповой дисперсии от ошибки эксперимента $F = \frac{MS_{x_1 \times x_2}^2}{MS_E^2}$, но и как отношения $F = \frac{MS_{x_1}^2}{MS_E^2}$

и $F = \frac{MS_{x_2}^2}{MS_E^2}$ факторных дисперсий оценок экспертов к внутригрупповой дисперсии.

Методология дисперсионного анализа была положена в основу разработки программного обеспечения с архитектурой «клиент–сервер» по сбору и статистической обработке сенсорных данных [48]. Точный критерий Фишера перебирает все возможные варианты таблицы сопряженности с одними и теми же суммарными частотами по строкам и столбцам, т.е. осуществляет всевозможное построение нуль-моделей, строящихся из предположения об отсутствии влияния изучаемого фактора [141, 107]

Кластеризацию проводили методом k-means. Множество элементов векторного пространства разбивается на заранее известное число кластеров k. Действие алгоритма заключается в минимизации среднеквадратичного отклонения на точках каждого кластера.

Обучение интеллектуального агента основано на работе нейронной сети и позволяет обеспечить необходимую точность в оценке влияния каждого параметра на состояние технологической системы и принятие решения в реальном времени.

В восприятии агента выходной сигнал i -го нейрона скрытого слоя в общем виде имеет вид:

$$y_i^{(2)} = f(\sum_{j=1}^N w_{ij}^{(1)} x_j); i = \overline{1, k} \quad (43)$$

где $w_{ij}^{(1)}$ – вес связи j -го нейрона первого слоя с входом i -го нейрона скрытого слоя

При сигмоидальной функции активации нейронов сигнал на выходе i -го нейрона скрытого слоя будет иметь вид:

$$y_i = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{j=1}^n w_{ij}^{(1)} x_j}} \quad (44)$$

а сигнал на выходе сети будет выражен формулой

$$Y = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^k w_i^{(2)} \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^n w_j^{(1)} x_j)} y_i)} \quad (45)$$

В качестве **алгоритма обучения** агента выбирается градиентный метод обратного распространения ошибки, суть которого заключается в подборе таких значений весов $w_{1j}^{(1)}$ и $w_{ij}^{(2)}$ для всех элементов слоев сети, чтобы при заданном входном векторе параметров $\{x_1, \dots, x_n\}$ получить на выходе, совпадающие с тестовым вектором обучающей пары с приемлемой точностью.

Заключение по главе 3

Подобранная методологическая база проектирования и исследования позволила комплексно подойти к вопросу 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.

Применение высоких технологий позволит не только оценить фактическое питание и получить «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.

Глава 4 ОЦЕНКА НУТРИЕНТНОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ. АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ВЫБОРА БЛЮД В РАЦИОН ПИТАНИЯ ИЛИ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ С УЧЕТОМ ТИПОЛОГИЗАЦИИ ПРИЗНАКОВ (КЛАСТЕРИЗАЦИЯ)

Детальный анализ разработанных и активно используемых в настоящее время программных продуктов для автоматизации технологических расчетов рецептур пищевых продуктов различных групп и рационов питания показал, что практически все программные продукты 1) используют один критерий оптимизации, как правило стоимостной; 2) являются обычными калькуляторами калорий, рассчитываемых либо по формуле Харриса-Бенедикта, либо Миффлина-Сан Жеора.

Вместе с тем установлено, что определение пищевой ценности (влага, белок, жир, углеводы) не дает полную информацию о качестве белков, что особенно важно для продукции из мяса, являющейся основным источником животного белка в питании человека. Для оценки качественного состава белкового компонента используют коэффициент сопоставимой избыточности (G), различий аминокислотного скора (КРАС), утилитарности (U) и биологической ценности, предложенные Роговым И.А. и Липатовым Н.Н. (мл.) и основанные на принципах Митчелла-Блока.

Для решения поставленной задачи была разработана подсистема 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 (зарегистрирована в Государственном реестре программ для ЭВМ, регистрационный номер 2015660124 от 22.09.2015).

Информационной основой системы [47] является база данных химического состава сырья [46], используемого в производстве комбинированных продуктов.

При работе с базой данных пользователи могут просматривать и редактировать нутриентный состав выбранного продукта, а также 1) редактировать/корректировать сведения о продукте; 2) добавлять новые продукты.

Логическая структура системы, представленная на рисунке 17, состоит из двух компонентов: информационная база данных; программная среда.

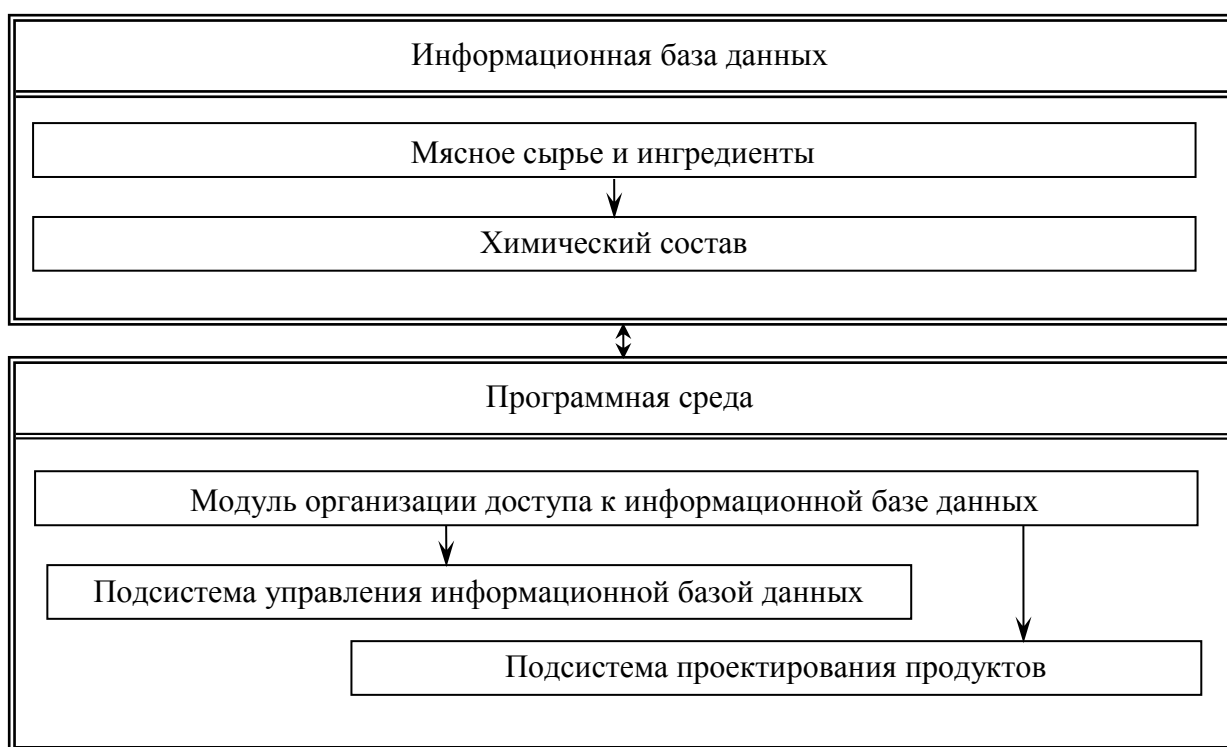


Рисунок 17. – Логическая структура диалоговой информационной системы проектирования комбинированных продуктов питания

Компьютерная программа Расчет нутриентной адекватности поликомпонентных мясных продуктов разрабатывалась в среде программирования Embarcadero Delphi 2010. Программа тестировалась на персональном компьютере с 64-х разрядной операционной системой Microsoft Windows 7. Работа с программой осуществляется после запуска исполнительного файла dFoodstuff.exe.

Разработанная программа с базой данных обеспечивает компьютерное решение таких задач, как расчет количественных и качественных показателей пищевого продукта: расчет общего химического состава, пищевой, биологической и энергетической ценности.

На базе действующих нормативных документов и в соответствии с требованиями к ингредиентному и физико-химическому составу мясных продуктов, программа позволяет рассчитать рецептуры с учетом большого числа оценочных факторов. Для этого была разработана компьютерная технология ведения постоянно пополняющегося банка знаний о продуктах и их характеристиках.

При разработке базы данных использовался компонент объектно-ориентированной среды Delphi 7 – Database Desktop, позволяющий создавать таблицы, изменять структуры таблиц и редактировать записи. При проектировании базы данных использовалась реляционная модель, которая на данный момент все еще остается самой распространенной и хорошо подходит для решения поставленной задачи. Преимуществом данной модели является простота, гибкость структуры, удобство реализации на компьютере.

База данных включает в себя «Справочник химического состава пищевых продуктов» с систематизированной информацией о 1) количественном содержании незаменимых и заменимых аминокислот; 2) наличии и содержании насыщенных жирных кислот (НЖК), моновенасыщенных жирных кислот (МНЖК), полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК); 3) углеводах, моносахаридах, дисахаридах, гидролизуемых и негидролизуемых полисахаридах; 4) водорастворимых витаминах, в том числе витамине С (аскорбиновая кислота), В1 (тиамин), В2(рибофлавин), В4(холин), В5(пантотеновая кислота), В6, В9 (фолиевая кислота), В12 (кобаламин), РР(ниацин), Н(биотин), и жирорастворимых витаминах – А, D, Е; 5) доли макро- и микроэлементов (зарегистрирована в Государственном реестре баз данных, регистрационный номер 2015620557 от 30.03.2015).

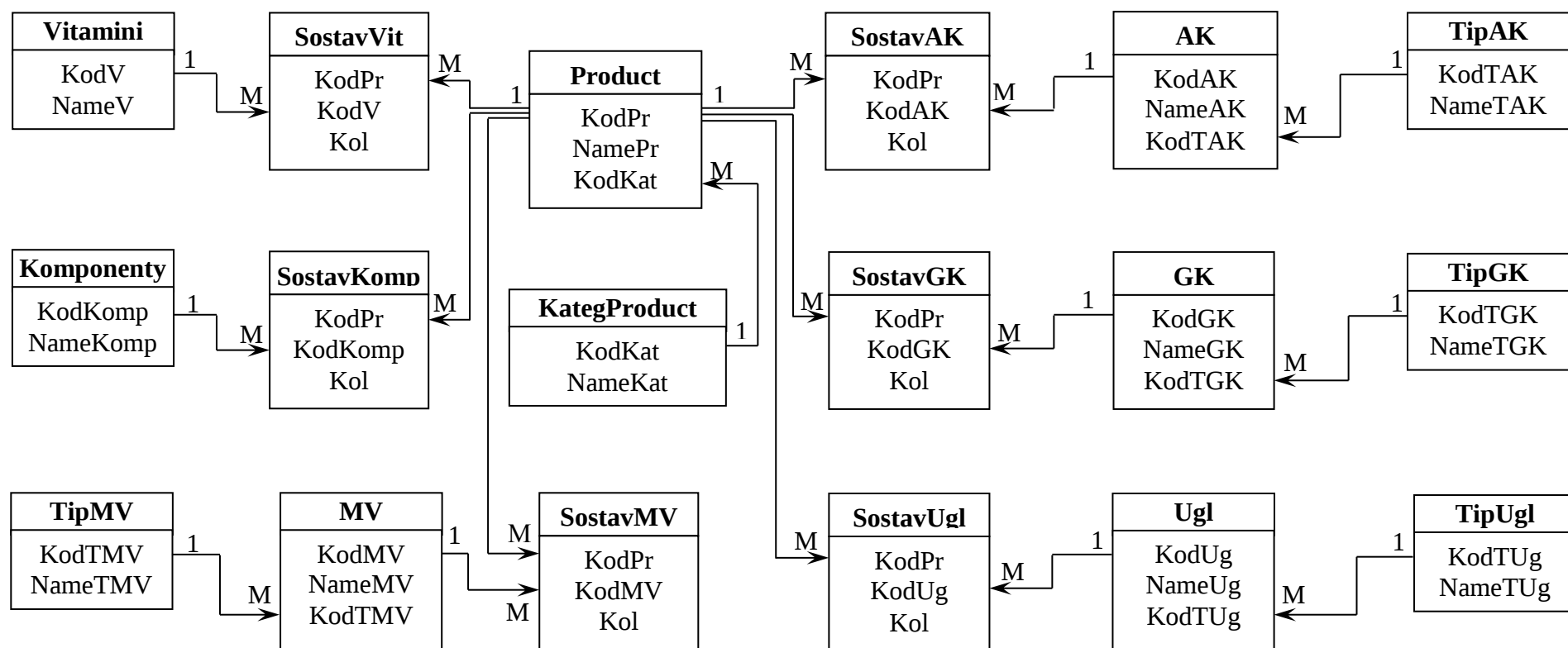


Рисунок 18. – Логическая структура базы данных «Пищевые продукты»

Логическая структура базы данных представлена на рисунке 18. Связи между таблицами показаны стрелками. Главные и подчиненные таблицы связаны между собой соотношением «один ко многим» (1:M).

Наряду с этим база данных является ценным инструментом для анализа, систематизации данных (информации) и получения выборок по определённому дескриптору с графическим и табличным представлением. Кластеризация кулинарных изделий, блюд позволяет формировать списки разрешённых и неразрешённых продуктов с точки зрения различных заболеваний, подобрать ингредиент с целью обогащения продукта конкретным нутриентом или придания необходимых свойств.

4.1. Типологизация продуктов, кулинарных изделий и блюд по различным характеристикам

Для оценки статуса питания и/или при составлении рациона индивидуального питания необходимо оперировать большим массивом информации о составе продуктов и наиболее важных с точки зрения питания компонентов продуктов. В первую очередь – белков, жиров и углеводов. Чрезвычайно важно обладать полной информацией о полноценности белка, составе жиров и связанным с ним индексом атерогенности пищевого рациона; качественного и количественного содержания витаминов, макро- и микроэлементов и пр. Важно знать состав углеводов, т.е. какой именно сахар содержится в продукте: фруктоза, сахароза, мальтоза или лактоза и т.д.

Данные о составе продуктов позволяют формировать взаимозаменяемые списки блюд с размерами порций или списки продуктов с точки зрения различных заболеваний.

На данном этапе проектирования, база данных «Кулинарные изделия и блюда» содержит описание продукта (таблица 5), химический состав (таблица 6) и технологические карты (рисунок 22).

В таблице 5 представлен фрагмент описания группы «Супы». В рационе питания необходимо конкретизировать название блюда, так как каждый вид блюда содержит не одну позицию и имеет свою пищевую и энергетическую ценность, например, в группе «Супы» содержится 115 наименований кулинарных блюд, в том числе Борщ содержит 23 наименования (позиции), Щи – 10 позиций, Рассольник – 9 позиций, Окрошка – 7 позиций и т.д.

Таблица 5. – Названия и описания продуктов питания (группа «Супы»)

ID	Название	Описание
01	Борщ	разновидность супа на основе свеклы, которая придаёт ему характерный красный цвет
02	Окрошка	холодный суп, смесь мелко нарезанных различных видов мяса или рыбы, или без них, овощей и солений, пряных трав, заправленный окрошечным квасом, а также сметаной
03	Рассольник	суп, основой которого являются солёные огурцы, также может добавляться огуречный рассол
04	Уха	рыбный суп

Каждое кулинарное блюдо имеет свой химический состав, рецептуру и способ приготовления. В таблице 6 представлен химический состав некоторых наименований группы «Супы» – Борщ. В скобках указан процент потерь при термообработке.

Таблица 6. – Содержание основных пищевых веществ в кулинарных изделиях
«Борщ ...» [69]

	Борщ с фасоль ю и картоф елем	Борщ сибирс кий	Борщ зелены й	Борщ летний	Борщ украин ский	Борщ полтав ский	Борщ с картоф елем из полуфа брикат ов	Борщ с капуст ой и картоф елем	Борщ с фасоль ю
Влага, г.	89,9 (22 %)	89,7 (22 %)	88,1 (22 %)	89,7 (22 %)	87,9 (22 %)	90,3 (34 %)	91,4 (2 %)	92,1 (14 %)	93,1 (7 %)
Белок, г.	1,3 (6 %)	1,3 (6 %)	1,7 (6 %)	1,1 (6 %)	1,1 (6 %)	1 (6 %)	0,5 (3 %)	0,6 (3 %)	0,8 (3 %)
Жир, г.	1,1 (5 %)	1,1 (5 %)	1,4 (5 %)	1,2 (5 %)	2,2 (5 %)	1,7 (5 %)	1,5 (3 %)	1,6 (3 %)	1,6 (3 %)
Углеводы, г.	5,8 (2,5 %)	5,5 (7 %)	6,4 (1,5 %)	5,9 (1 %)	6,7 (2,5 %)	4,7 (2 %)	3,5 (-4 %)	3,1 (-8 %)	2,1 (1,5 %)
Na, мг.	271 (0 %)	270 (0 %)	277 (0 %)	276 (0 %)	268 (0 %)	227 (0 %)	260 (0 %)	300 (0 %)	297 (0 %)
K, мг.	172 (0 %)	150 (0 %)	346 (0 %)	223 (0 %)	191 (0 %)	170 (0 %)	102 (0 %)	127 (0 %)	81 (0 %)
Ca, мг.	22 (0 %)	25 (0 %)	37 (0 %)	24 (0 %)	22 (0 %)	16 (0 %)	10 (0 %)	17 (0 %)	19 (0 %)
Mg, мг.	13 (0 %)	13 (0 %)	37 (0 %)	15 (0 %)	13 (0 %)	10 (0 %)	6 (0 %)	11 (0 %)	10 (0 %)
P, мг.	88 (0 %)	87 (0 %)	92 (0 %)	77 (0 %)	77 (0 %)	78 (0 %)	20 (0 %)	33 (0 %)	35 (0 %)
Fe, мг.	0,6 (0 %)	0,6 (0 %)	1,3 (0 %)	0,6 (0 %)	0,5 (0 %)	0,4 (0 %)	0,3 (0 %)	0,5 (0 %)	0,5 (0 %)
β-каротин, мг.	0,33 (15 %)	0,33 (15 %)	0,85 (15 %)	0,31 (15 %)	0,35 (15 %)	0,18 (15 %)	0,07 (10 %)	0,08 (10 %)	0,08 (10 %)
B ₁ , мг.	0,03 (12 %)	0,02 (12 %)	0,06 (12 %)	0,03 (10 %)	0,03 (12 %)	0,03 (12 %)	0,03 (10 %)	0,02 (10 %)	0,02 (10 %)
B ₂ , мг.	0,03 (15 %)	0,03 (15 %)	0,07 (15 %)	0,34 (10 %)	0,03 (15 %)	0,03 (15 %)	0,01 (10 %)	0,01 (10 %)	0,01 (10 %)
PP, мг.	0,28 (13 %)	0,26 (13 %)	0,40 (13 %)	0,39 (10 %)	0,38 (13 %)	0,47 (13 %)	0,25 (10 %)	0,22 (10 %)	0,03 (10 %)
C, мг.	2,7 (50 %)	3,7 (50 %)	9,5 (50 %)	5,5 (45 %)	6,4 (50 %)	8,1 (50 %)	5,0 (42 %)	4,5 (42 %)	3,1 (42 %)

База данных является ценным инструментом для анализа, систематизации данных (информации) и получения выборок по определённым дескрипторам. Используя методы кластерного анализа легко увидеть не общую картину в целом, а получить необходимые взаимосвязи, выборки продуктов по различным критериям (признакам) с графическим и табличным представлением. Кластеризация кулинарных изделий, блюд позволяет диетологам формировать списки разрешённых и неразрешённых продуктов с точки зрения различных заболеваний.

Проведем кластеризацию фрагмента базы данных методом k-means. На примере кластеризации по показателям «Содержание калия» (рисунок 19), «Содержание кальция» (рисунок 20), «Содержание моно- и дисахаридов» (рисунок 21) подгруппы «Борщ», «Щи», группы «Супы», мы видим, что одни и те же первые блюда могут группироваться в разные выборки. Например, первое блюдо «Щи зелёные» по разным показателям входит в различные кластеры:

1) по содержанию кальция ($Ca = 26$ мг) в кластер с высоким содержанием кальция (среднее значение по кластеру 24,8 мг, диапазон варьирования от 22 до 43 мг);

2) по содержанию калия ($K = 228$ мг) в кластер с умеренным (средним) содержанием калия (среднее значение по кластеру 203,8 мг, диапазон варьирования от 172 до 248 мг);

3) по содержанию моно- и дисахаридов (2 г) в кластер с низким содержанием (среднее значение по кластеру 1,5 г, диапазон варьирования от 0 до 2,4 г).

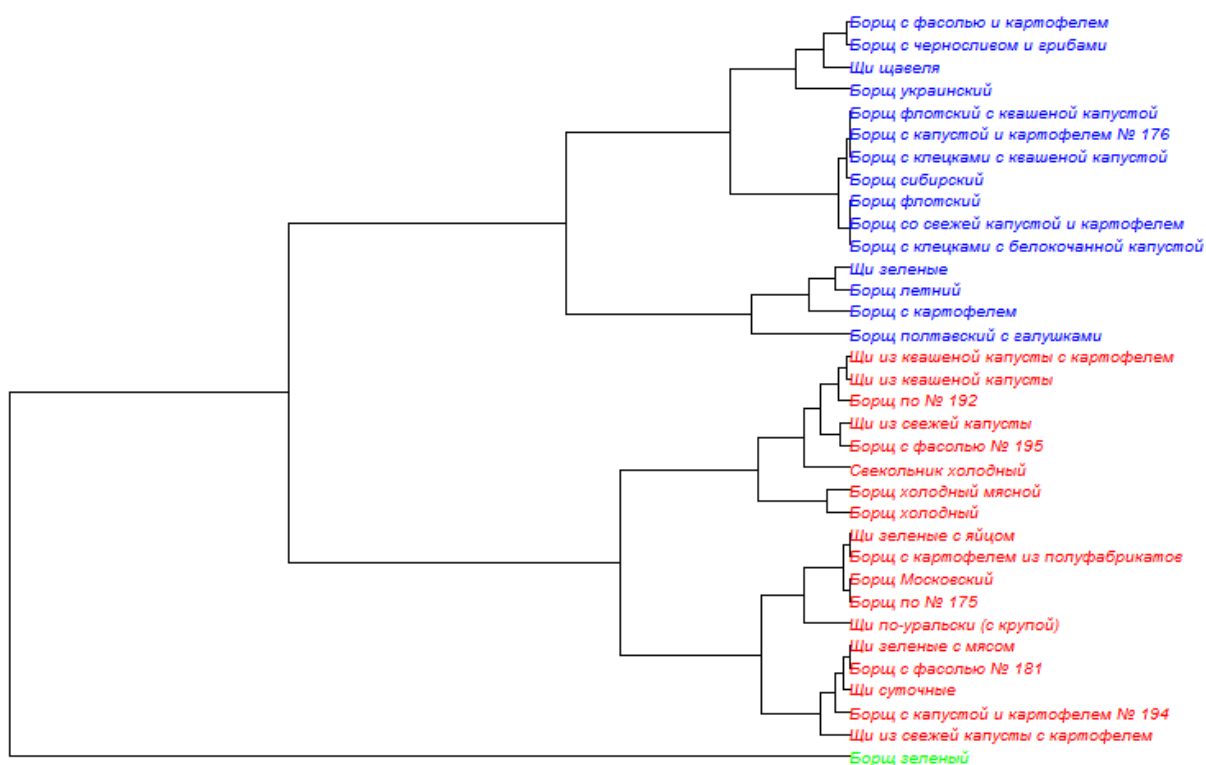


Рисунок 19. – Кластеризация по признаку «Содержание калия» фрагмента группы «Супы»

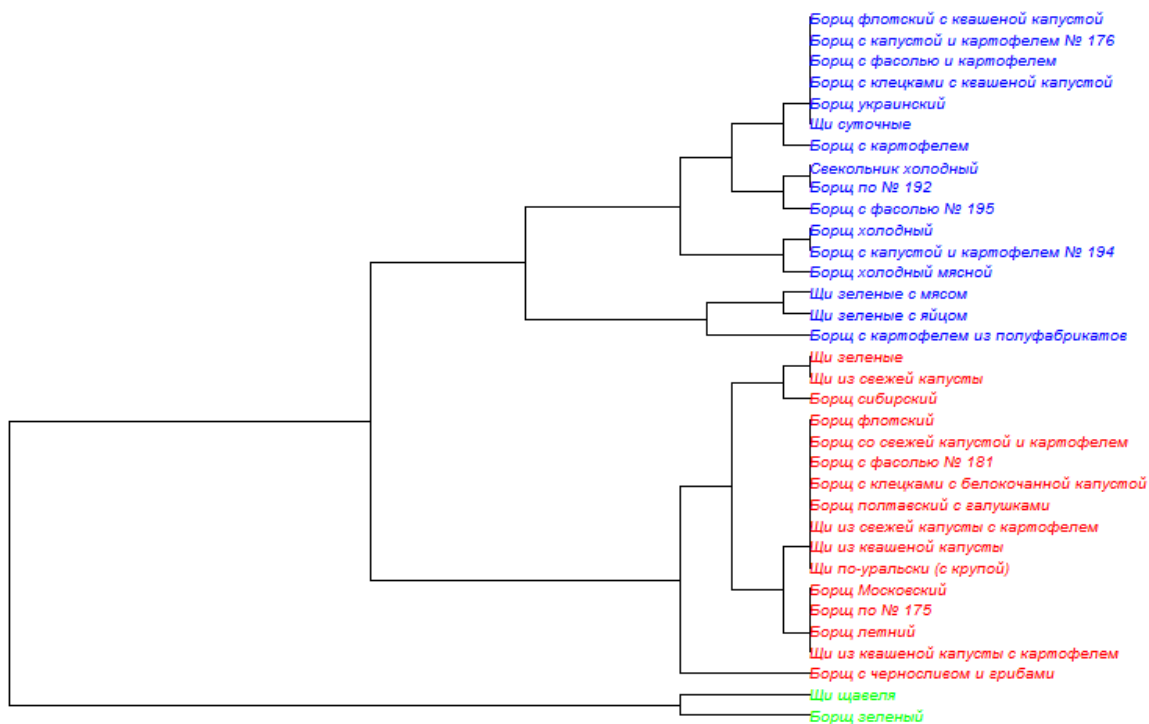


Рисунок 20. – Кластеризация по признаку «Содержание кальция» фрагмента группы «Супы»

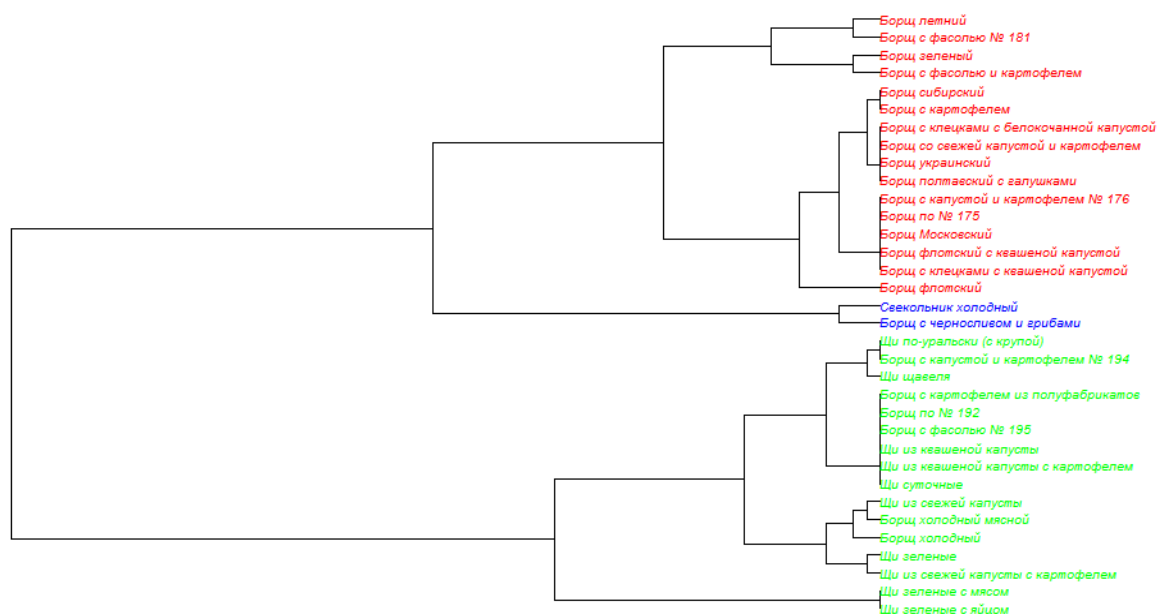


Рисунок 21. – Кластеризация по признаку «Содержание моно- и дисахариды» фрагмента группы «Супы»

Наряду с графическим представлением информации (дендрограмма) формируются сводная таблица с детализацией сведений (количество наименований, среднее и экстремальные (максимум и минимум) значения в каждом Кластере). В качестве примера рассмотрим признак «Содержание кальция», в котором сформировалось 3 кластера (таблица 7). В первый кластер вышло 7 наименований кулинарного блюда «Борщ», «Щи» с диапазоном варьирования от минимального значения (17 мг) до максимального значения (21 мг) и средним значением 18,9 мг. Во второй кластер было включено 24 наименования кулинарного блюда «Борщ», «Щи» с диапазоном варьирования от минимального значения (22 мг) до максимального значения (42 мг) и средним значением 24,8 мг. В третий кластер – 3 наименования кулинарного блюда «Борщ», «Щи» с диапазоном варьирования от минимального значения (11 мг) до максимального значения (15 мг) и средним значением 13,3 мг.

Таблица 7. – Результат кластеризации

Кластеры	Количество по полю Супы	Среднее по полю Са, мг	Максимум по полю Са, мг	Минимум по полю Са, мг
1	7	18,9	21,0	17,0
2	24	24,8	42,0	22,0
3	3	13,3	15,0	11,0
Общий итог	34	22,6	42,0	11,0

Детализацию о кулинарных блюдах, входящих в данный кластер, можем получить при нажатии на соответствующий кластер, например, 1 (таблица 8). Количество кальция нужно регламентировать при мочекаменной болезни почек и остеопорозе. Очень важно контролировать соотношение кальция и фосфора в рационе.

Таблица 8. – Результат кластеризации (детальная информация)

Кластеры	Количество по полю Супы	Среднее по полю Са, мг	Максимум по полю Са, мг	Минимум по полю Са, мг
1	7	18,9	21,0	17,0
Борщ № 192	1	20,0	20,0	20,0
Борщ с капустой и картофелем				
№ 194	1	17,0	17,0	17,0
Борщ с картофелем	1	21,0	21,0	21,0
Борщ с фасолью № 195	1	19,0	19,0	19,0
Борщ холодный	1	17,0	17,0	17,0
Борщ холодный мясной	1	18,0	18,0	18,0
Свекольник холодный	1	20,0	20,0	20,0
2	24	24,8	42,0	22,0
Борщ зелёный	1	37,0	37,0	37,0
Борщ летний	1	24,0	24,0	24,0

Борщ Московский	1	24,0	24,0	24,0
Борщ № 175	1	24,0	24,0	24,0
Борщ полтавский с галушками	1	23,0	23,0	23,0
Борщ с капустой и картофелем № 176	1	22,0	22,0	22,0
Борщ с клецками с белокочанной капустой	1	23,0	23,0	23,0
Борщ с клецками с квашеной капустой	1	22,0	22,0	22,0
Борщ с фасолью № 181	1	23,0	23,0	23,0
Борщ с фасолью и картофелем	1	22,0	22,0	22,0
Борщ с черносливом и грибами	1	28,0	28,0	28,0
Борщ сибирский	1	25,0	25,0	25,0
Борщ со свежей капустой и картофелем	1	23,0	23,0	23,0
Борщ украинский	1	22,0	22,0	22,0
Борщ флотский	1	23,0	23,0	23,0
Борщ флотский с квашеной капустой	1	22,0	22,0	22,0
Щи зелёные	1	26,0	26,0	26,0
Щи из квашеной капусты	1	23,0	23,0	23,0
Щи из квашеной капусты с картофелем	1	24,0	24,0	24,0
Щи из свежей капусты	1	26,0	26,0	26,0
Щи из свежей капусты с картофелем	1	23,0	23,0	23,0
Щи по-уральски (с крупой)	1	23,0	23,0	23,0
Щи суточные	1	22,0	22,0	22,0
Щи из щавеля	1	42,0	42,0	42,0
3	3	13,3	15,0	11,0
Борщ с картофелем из	1	11,0	11,0	11,0

полуфабрикатов

Щи зелёные с мясом	1	15,0	15,0	15,0
Щи зелёные с яйцом	1	14,0	14,0	14,0
Общий итог	34	22,6	42,0	11,0

К каждому кулинарному изделию в БД имеется Технологическая карта (ТК) блюда, отражающая рецептуру и основные пищевые характеристики данного блюда. В ТК показывается норма по расходу ингредиентов на изготовление блюда брутто и нетто (в расчёте на одну или несколько порций, на один или несколько килограмм), общий выход.

На рисунке 22 (а, б) показаны ТК «Борщ с капустой свежей и картофелем» и «Борщ сибирский с фрикадельками» [69, 75].

Технологические карты - Супы

Технологическая карта:
БОРЩ С КАПУСТОЙ СВЕЖЕЙ И КАРТОФЕЛЕМ

Борщ с капустой свежей и картофелем
Номер по сборнику рецептов № 49/87

№№	Наименование продуктов	Норма расхода продуктов на 100 порций		Вес готового продукта в граммах
		брутто, кг	нетто, кг	
1	Свекла	5,0	4,8	
2	Капуста	2,5	2,3	
3	Картофель	2,7	2,5	
4	Морковь пассированная	0,687	0,687	6,8
5	Лук пассированный	0,747	0,747	7,4
6	Томат-паста	0,3	0,3	
7	Сахар-песок	0,25	0,25	
8	Лимонная кислота	0,012	0,012	
9	Сметана	0,5	0,5	
10	Специи (соль)	0,05	0,05	
11	Масло сливочное	0,2	0,2	
12	Вода	12,5	12,5	
Выход одной порции в граммах				250

Свеклу нарезают соломкой и тушат с добавлением томат-пасты, лимонной кислоты, масла сливочного и небольшого количества воды. В кипящую воду кладут нарезанные дольками или ломтиками картофеля, нашинкованную капусту, доводят до кипения, добавляют тушеную свеклу, пассированные морковь, лук и варят борщ 10-15 минут. За 5-10 минут до окончания варки в борщ добавляют сахар, соль, заправляют прокипяченной сметаной

Назад

а)

Технологические карты - Супы

Технологическая карта:
БОРЩ СИБИРСКИЙ С ФРИКАДЕЛЬКАМИ

Борщ сибирский с фрикадельками
Номер по сборнику рецептов № 51/87

№№	Наименование продуктов	Норма расхода продуктов на 100 порций		Вес готового продукта в граммах
		брутто, кг	нетто, кг	
1	Свекла	5,0	4,0	
2	Капуста	2,5	2,0	
3	Картофель	-	1,0	
4	Морковь пассированная	0,687	0,687	6,8
5	Лук пассированный	0,747	0,747	7,4
6	Томат-паста	0,3	0,3	
7	Чеснок	0,125	0,1	
8	Сахар-песок	0,25	0,25	
9	Лимонная кислота	0,004	0,004	
10	Сметана	0,5	0,5	5
11	Вода	20,0	20,0	200
12	Масло сливочное	0,2	0,2	2
Выход одной порции в граммах				250
Фрикадельки				
1	Говядина	-	2,3	23
2	Лук репчатый	0,25	0,2	2
3	Вода	0,2	0,2	2
4	Яйцо (штуки)	4		
Выход одной порции в граммах				20

Свеклу нарезают соломкой и тушат с добавлением томат-пасты, лимонной кислоты, масла сливочного и небольшого количества воды. В кипящую воду кладут нарезанные дольками или ломтиками картофеля, нашинкованную капусту, доводят до кипения, добавляют тушеную свеклу, пассированные морковь, лук и варят борщ 10-15 минут. За 5-10 минут до окончания варки в борщ добавляют сахар, соль, заправляют прокипяченной сметаной. Для приготовления фрикаделек говядину пропускают через мясорубку 2-3 раза, соединяют с сырым мелконарезанным луком, сырыми яйцами, водой, солью и хорошо размешивают. Сформованные шарики весом 8-10 г припускают в бульоне до готовности, кладут в борщ при отпуске.

Назад

б)

Рисунок 22. – Технологические карты: а) технологическая карта «Борщ с капустой свежей и картофелем»; б) технологическая карта «Борщ сибирский с фрикадельками»

Кластеризацию возможно проводить по нескольким признакам. На рисунке 23 представлен пример кластеризации фрагмента базы данных по двум

показателям. Результат кластеризации по двум признакам представлен в таблице 9.

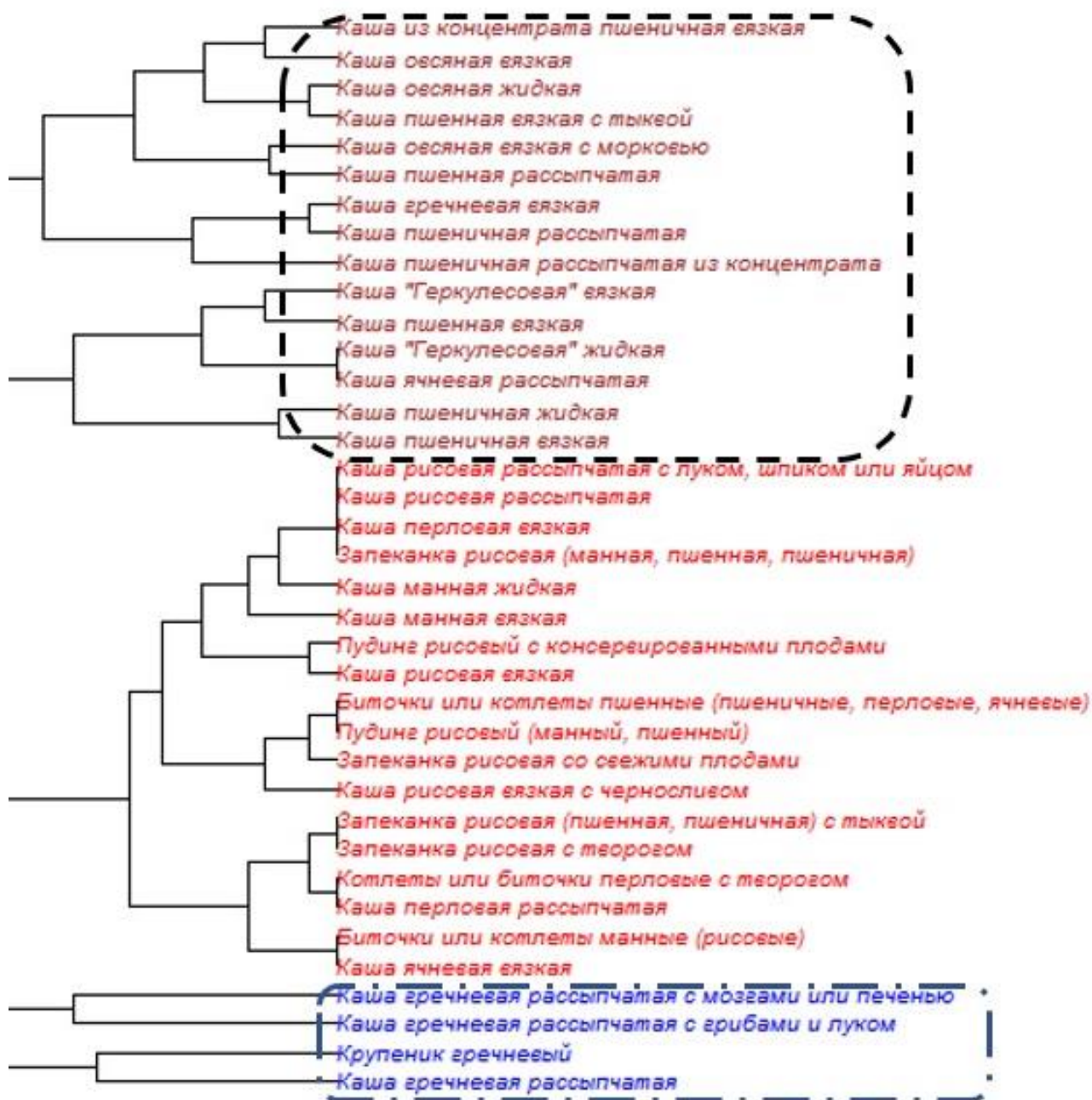


Рисунок 23. – Кластеризация фрагмента группы «Каши» по двум признакам
«Содержание железа и витамина В₁»

В случае кластеризации по каждому признаку в отдельности группирование в кластеры будет абсолютно другим (рис. 24а, 24б).

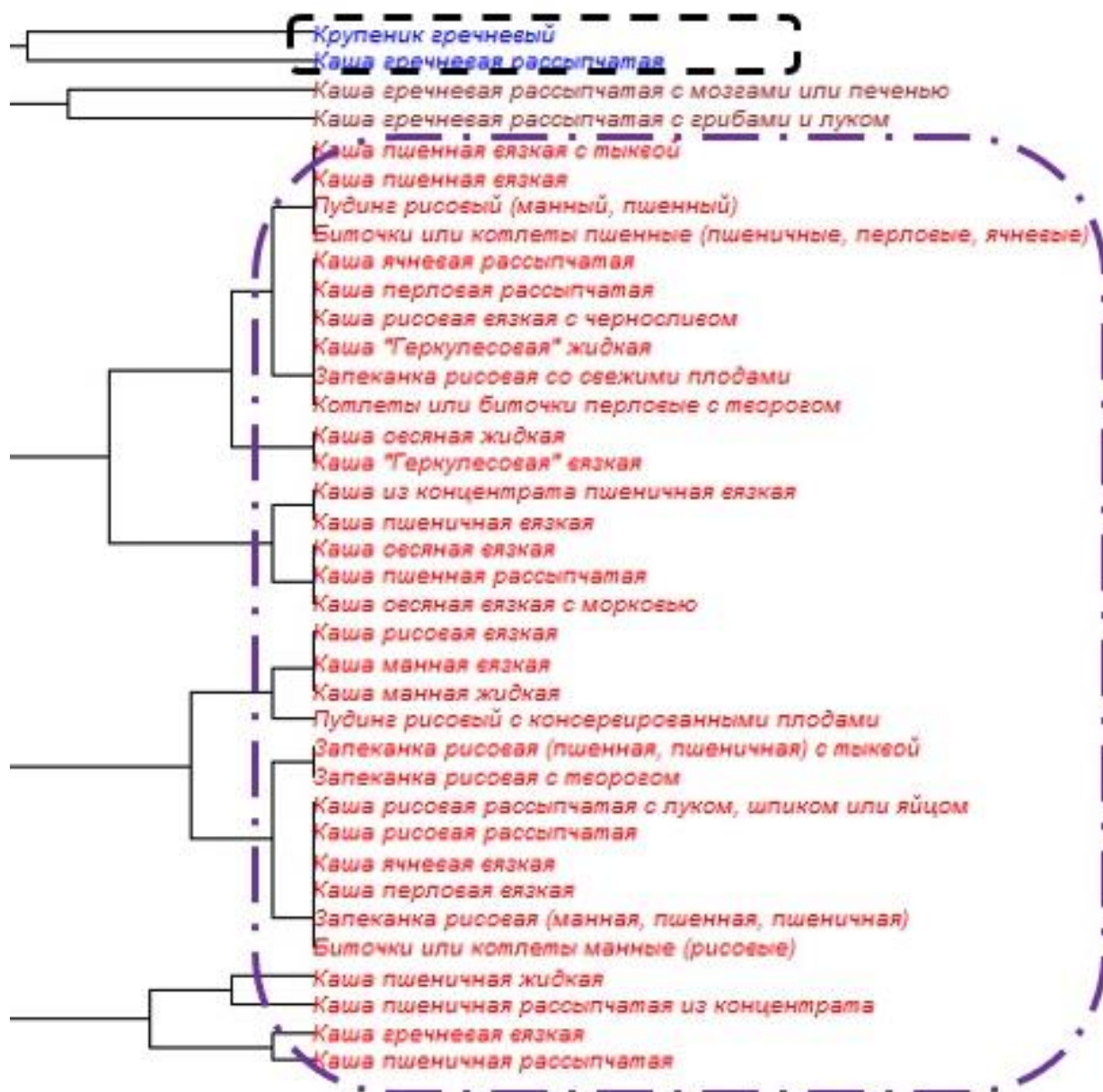


Рисунок 24а. – Кластеризация фрагмента группы «Каши» по признаку
«Содержание железа»

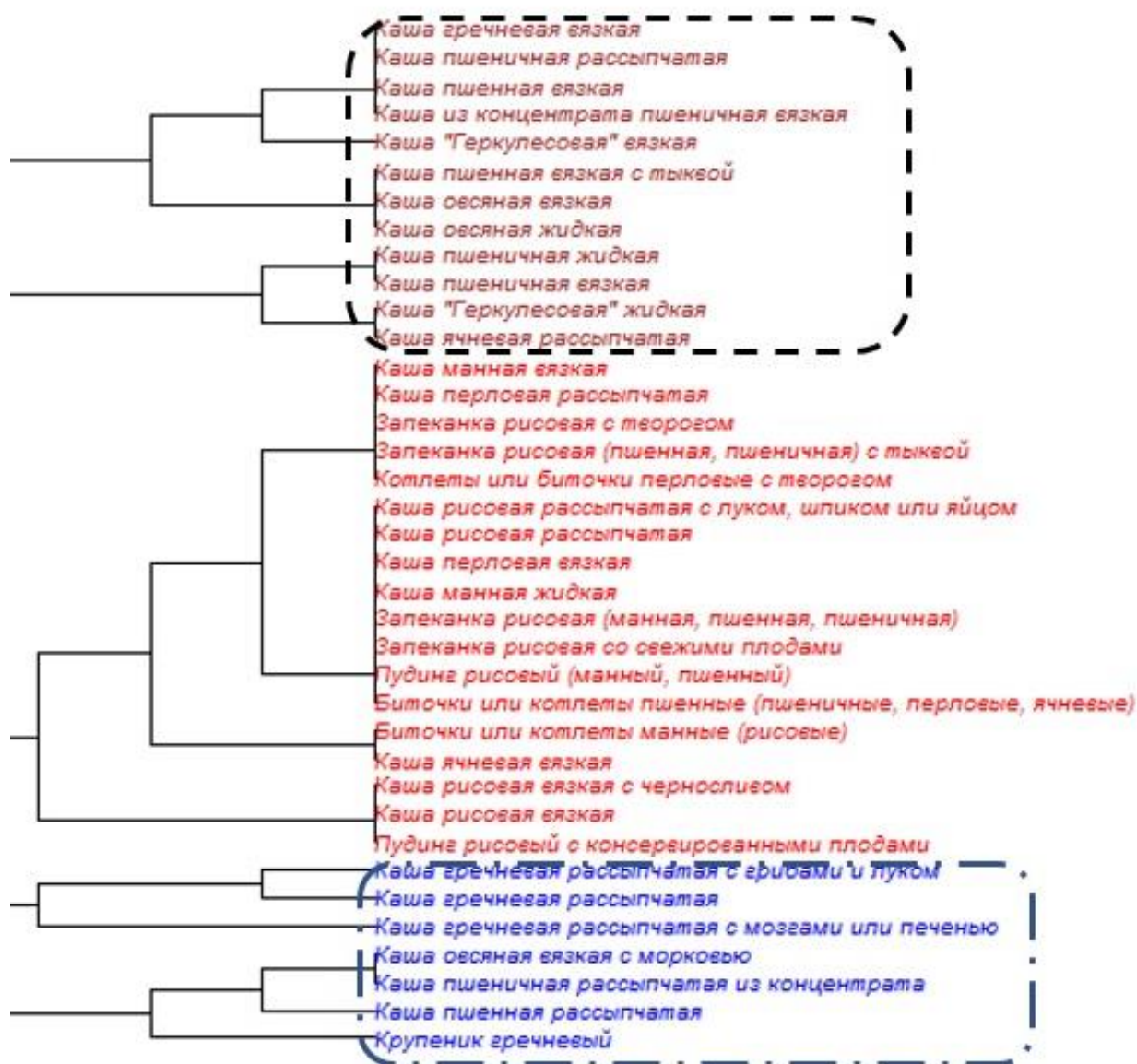


Рисунок 24б. – Кластеризация фрагмента группы «Каши» по признаку
«Содержание витамина B₁»

Таблица 9. – Результат кластеризации по полям «Каши» и «Содержание железа и витамина B₁»

Кластеры	Количество по полю Каши	Среднее по полю Fe, мг.	Минимум по полю Fe, мг.	Максимум по полю Fe, мг.	Среднее по полю B ₁ , мг.	Минимум по полю B ₁ , мг.	Максимум по полю B ₁ , мг.
1	15	1,03	0,60	1,70	0,08	0,05	0,11
2	4	3,38	2,30	4,40	0,14	0,12	0,16
3	18	0,45	0,20	0,70	0,02	0,01	0,04

Так, например, при разработке рациона питания для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, располагая общими научно-обоснованные принципами для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и конкретизированными медико-биологическими требованиями, проведена кластеризация и получен перечень продуктов и блюд по категориям (салаты, первые, вторые блюда, гарнир и др.), которые могут быть использованы в проектируемом рационе питания.

К общими научно-обоснованным принципам для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний относятся:

1) профилактическая направленность питания, связанная с постоянным психоэмоциональным напряжением, сокращением продолжительности сна и времени пребывания на свежем воздухе, длительным пребыванием в сидячей позе (гиподинамия), интенсификацией обучения, связанной с использованием новых технических средств (видеотехника, компьютеризация обучения и др.) и увеличением количества учебных часов;

2) рацион питания студентов для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний должен способствовать улучшению обменных процессов, восстановлению метаболизма сосудистой стенки и сердечной мышцы, уменьшению гемокоагуляции, обладать противосклеротическим терапевтическим эффектом, что обеспечивается сочетанием животного и растительного белка, его сбалансированностью по аминокислотному составу, ограничением энергетической ценности, поваренной соли, холестерина, наряду с достаточным обеспечением организма белком и оптимальным жировым составом;

3) продукты промышленного производства и блюда, приготовленные в домашних условиях или на предприятиях общепита, входящие в состав рациона питания студентов, должны быть обогащены витаминами, макро- и микроэлементами при оптимальном их соотношении, полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами и другими специфическими

ингредиентами, способствующими предотвращению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний;

4) в рацион питания должны быть включены продукты, содержащие фосфолипиды, обладающие липотропным действием, способствующие стабилизации раствора холестерина в желчи и уменьшению всасывания холестерина в кишечнике [37, 60, 2].

К конкретизированным медико-биологическим требованиям:

1) оптимальное содержание углеводов, а также белков и жиров должно составлять 15-19, 14-18 и 60-74 % по калорийности соответственно;

2) белковая составляющая специализированных продуктов, входящих в состав рациона, должна сочетать белок животного и растительного происхождения, так как при этом достигается более выраженный гипохолестеринемический эффект;

3) оптимальное содержание белка в рационе должно составлять 80-90 г/сут, что соответствует 3-6 % от общей калорийности рациона, при этом количество животного и растительного белка должно быть приблизительно равным;

4) не следует допускать содержания в пищевом рационе насыщенных жиров более 10 %, при этом отношение ненасыщенных к насыщенным жирным кислотам должно быть не более 1,0.

5) жировая часть рациона должна составлять до 2-5 % от общей калорийности рациона (70-80 г/сут), при этом 1-2 % от общей калорийности рациона должны составлять НЖК, 1-2 % – МНЖК, 0,8-1,5 % – ПНЖК. Оптимальное соотношение НЖК/МНЖК/ПНЖК (1:1:1).

Источником животного белка в продуктах, входящих в состав рациона питания студентов, могут служить говядина и свинина, используемые в полуфабрикатном производстве, мясо кур и индейки. В качестве белка растительного происхождения рекомендуется использовать продукты переработки соевых бобов (концентрат, изолят) с большим содержанием

изофлавонов, которые обуславливают гиполипидемическое, антиоксидантное, гипотензивное и тромболитическое действие, а также нут, крупы, зерновые.

Жировой компонент формируется жиром мясного сырья и растительных масел как источника ПНЖК: подсолнечное, кукурузное, хлопковое, содержащие в основном жирные кислоты класса ω -6; льняное, соевое, рапсовое и другие, богатые α -линоленовой кислотой. ПНЖК класса ω -3 особенно значительно снижают уровень гипертриглицеридемии.

Из источников углеводов предпочтение следует отдавать растительным продуктам – зерновым, овощам, которые содержат в достаточном количестве пищевые волокна (ПВ). Основными представителями ПВ являются целлюлоза и пектин. Добавление 15 г растворимых ПВ (пектина, гуаровой камеди) в суточный рацион на 15–21 % снижает уровень холестерина в крови. Широкое включение в диету овощей, фруктов, зерновых позволяет полностью удовлетворить потребность организма в ПВ, которая составляет 30–50 г в день.

В качестве специй рекомендуется использовать: зелень и корень петрушки, укропа, корень и семена сельдерея, майоран, перец стручковый, лук.

В результате машинного (имитационного) эксперимента были получены альтернативные варианты рационов для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, один из которых представлен на рисунке 25 с учетом выбранных факторов.

Студенты, в возрасте до 25 лет, большую часть времени проводят в вузе, поэтому разработанный рацион рекомендован для студенческой столовой и рассчитан с учетом длительного времени пребывания студента в вузе и необходимости восполнения нутриентов организмом.

Работа выполнялась совместно с МГУПП и Московским фондом содействия санитарно-эпидемиологическим благополучием населения.

Завтрак	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Эн.цен., ккал	ПВ, %	Витамины							Минеральные вещества					Жирные кислоты		
						A, мкг	C, мг	B ₂ , мг	B ₁ , мг	B ₆ , мг	PP, мг	E, мг	Ca, мг	Fe, мг	P, мг	Mg, мг	J, мкг	НЖК	МНЖК	ПНЖК
1. Кабачки, фаршированные овощами	3,90	17,80	10,70	218,60	2,70	20,00	3,90	0,09	0,05	0,13	1,20	6,50	136,00	7,00	83,00	14,00	4,78	6,51	4,18	0,43
2. Печенье, обогащенное лецитином	2,52	0,66	16,11	72,90	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,03	1,62	0,00	24,42	0,99	0,00	0,00	0,00	0,11	0,09	0,37
3. Сок персиковый	0,60	0,00	33,00	134,40	1	0,00	12,00	0,08	0,04	0,10	1,20	1,60	10,00	0,40	30,00	24,00	4,00	0,00	0,00	0,00
Итого:	7,02	18,46	59,81	425,90	3,70	20,00	15,90	0,23	0,18	0,26	4,02	8,10	170,42	8,39	113,00	38,00	8,78	6,62	4,27	0,80
Обед	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Эн.цен., ккал	ПВ, %	Витамины							Минеральные вещества					Жирные кислоты		
						A, мкг	C, мг	B ₂ , мг	B ₁ , мг	B ₆ , мг	PP, мг	E, мг	Ca, мг	Fe, мг	P, мг	Mg, мг	J, Мкг	НЖК	МНЖК	ПНЖК
1. Салат из редиса	2,50	5,00	2,90	66,60	1,00	50,00	13,00	0,10	0,02	0,09	0,10	0,30	56,00	1,00	61,00	25,00	5,98	1,99	2,83	8,74
2. Суп-пюре из шпината	5,70	6,00	12,00	124,00	1,80	30,00	20,40	0,30	0,12	0,09	0,90	2,40	183,00	12,60	312,00	99,00	4,26	3,15	1,65	0,09
3. Мясо тушеное с черносливом	17,60	12,30	33,70	316,00	4,50	0,00	3,20	1,10	0,07	0,31	2,80	0,18	27,40	1,70	99,13	13,02	5,94	6,40	6,01	0,43
4. Макароны отварные	5,40	0,60	25,00	127,00	1,80	0,00	0,00	0,02	0,06	0,23	0,60	0,80	10,00	0,90	36,00	9,00	2,07	6,23	3,36	0,71
5. Хлебобулочное изделие "Тонус"	7,20	0,54	25,20	129,60	11,40	0,00	0,00	0,30	0,50	0,03	4,30	0,00	26,40	7,02	342,00	87,60	0,00	0,11	0,09	0,37
6. Кисель из кураги	0,80	0,00	25,80	106,40	3,60	0,00	0,40	0,04	0,02	0,00	0,40	1,00	32,00	0,60	26,00	16,00	2,00	0,00	0,00	0,00
Итого:	39,20	24,44	124,60	869,60	24,10	80,00	37,00	1,86	0,79	0,75	9,10	4,68	334,80	23,82	876,13	249,62	20,25	17,88	13,94	10,34
ВСЕГО:	46,22	42,90	184,41	1295,50	27,80	100,00	52,90	2,09	0,97	1,01	13,12	12,78	505,22	32,21	989,13	287,62	29,03	24,50	18,21	11,13
	Соотношение																	Соотношение		
	белок	жир	углеводы															НЖК	МНЖК	ПНЖК
	1,08	1,00	4,30															1,35	1,00	0,61

Рисунок 25. – Рацион питания для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, рекомендуемый для студенческой столовой и рассчитанный на время пребывания студента в вузе (2/3 от суточной потребности организма)

Таким образом, база данных является ценным инструментом для анализа, систематизации данных (информации) и получения выборок по определённому дескриптору. Получив в процессе компьютерного моделирования рецептуру продукта, возможно произвести расчет дополнительных показателей, например, характеризующих качественные характеристики белкового компонента.

4.2 Расчет нутриентной сбалансированности поликомпонентных продуктов

Оптимизация рецептов при проектировании новых видов мясной продукции с использованием более дешевого сырья и ингредиентов зачастую приводит к появлению сразу нескольких проблем. Одной из которых является снижение белка в мясных продуктах, не уменьшая содержания общего белка, может оказать существенное влияние на его аминокислотный состав и, соответственно, на уровень биологической ценности.

Именно по этой причине необходимо особое внимание уделять контролю за качеством белка.

Информация о количественном содержании заменимой аминокислоты (гидро-) оксипролина (допустимые пределы 0,15-0,45 %) свидетельствуют о наличии в рецептуре низкосортного сырья, характеризует степень полноценности белкового компонента продукта [14].

В качестве критерия качества мясных продуктов может быть использован белковый качественный показатель, представляющий собой отношение триптофана к оксипролину. Триптофан – аминокислота, типичная для мышечных белков мяса, она полностью отсутствует в соединительной ткани. Оксипролин – аминокислота, типичная для белков соединительной ткани (коллагена и эластина), она полностью отсутствует в мышечных белках. Чем больше белковый качественный показатель, тем выше пищевая ценность мяса, тем больше в мясе мышечной ткани, мышечных белков, незаменимых аминокислот [58].

Другой проблемой может стать ухудшение органолептических показателей готового продукта, и в конечном итоге снижает прибыль предприятия. Так, например, использование мяса птицы механической обвалки при производстве эмульгированных мясопродуктов способствует снижению себестоимости готовой продукции. Однако, внесение его в большом количестве приводит к ухудшению органолептических показателей готового продукта из-за высокого содержания легкоокисляемых липидов [12].

На примере качественной оценки сбалансированности аминокислот в эмульгированном мясном продукте (сардельки) рассмотрим работу компьютерной подсистемы. Исходные данные, используемые при расчете, представлены в таблице 10 [57].

Таблица 10. – Рецептура эмульгированного мясного продукта комбинированного состава

Наименование сырья и ингредиентов	Рецептуры, %	
	Контроль	Опыт
Говядина жилованная 2 сорта	48	35
Свинина полужирная	30	23
Свинина жилованная жирная	20	20
Крахмал	2	2
Соевый белок	-	4
Вода (на гидратацию) соевого белка	-	16
ИТОГО:	100	100

На рисунке 26 представлен алгоритм расчетного модуля компьютерной системы, заключающийся в выборе из базы данных компонентов по признакам: химический состав, функциональные свойства, способные при варьировании их содержания в рецептуре наиболее существенно влиять на баланс жир: белок, структурно-механические свойства получаемой системы, органолептические показатели готового продукта (с применением кластеризации или без) и

последующей формализации массовых долей каждого компонента или диапазон варьирования в рецептуре комбинированного мясного продукта.

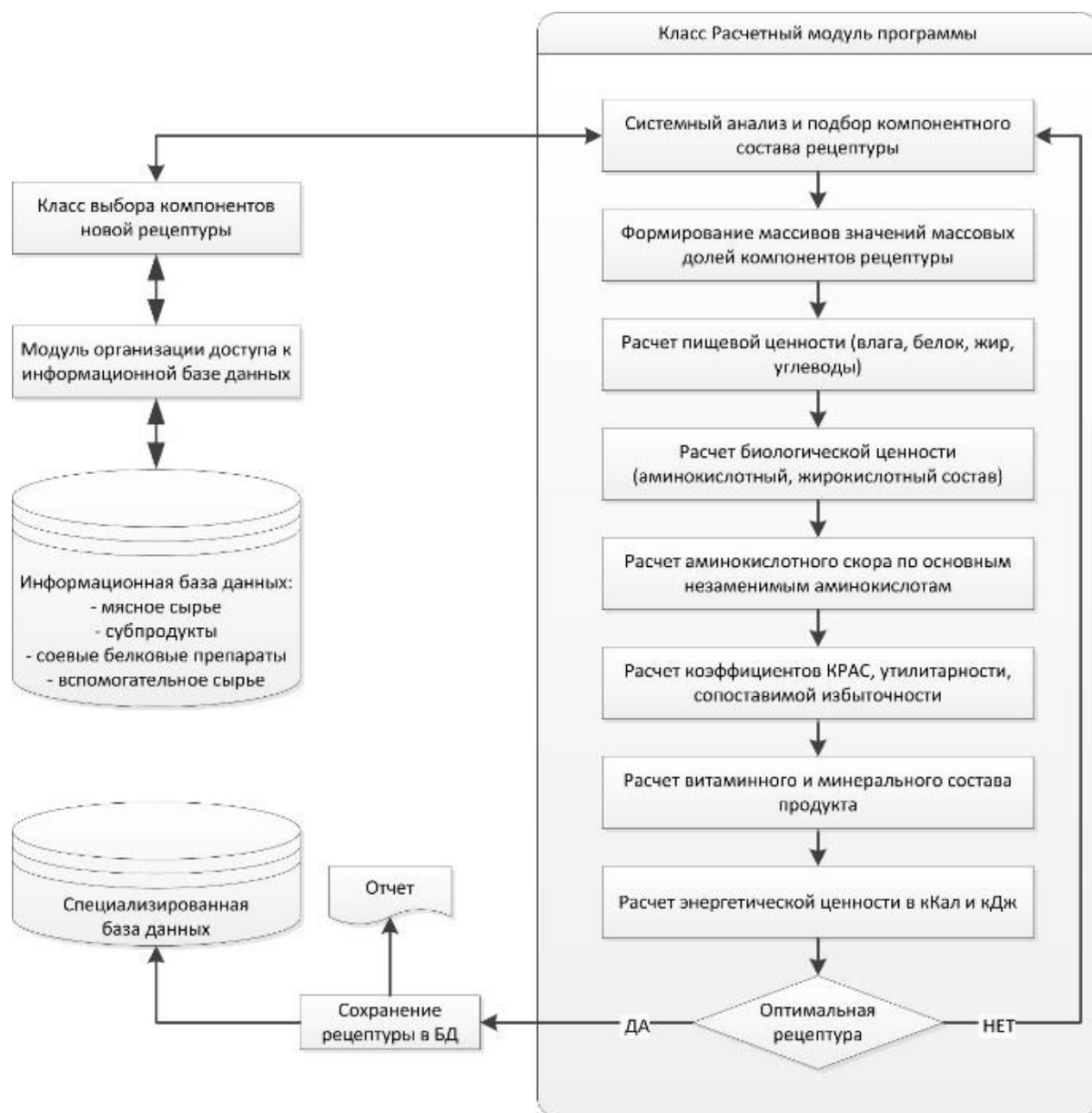


Рисунок 26. – Функциональная схема обобщенного алгоритма Расчетного модуля

В результате работы Расчетного модуля система выдает в экранной форме (рис. 27-28) следующую информацию: массовые доли влаги, белка, жира, углеводов, аминокислотный скор незаменимых аминокислот, коэффициенты КРАС, утилитарности, сопоставимой избыточности, биологическая и энергетическая ценность проектируемого продукта (контроль и опыт) и другие показатели.

Проектирование продукта

Массовая доля, %

Влага	58,23		
Белок	17,04	Аминокислотный состав	Витаминный состав
Жир	22,18	Жирокислотный состав	Минеральный состав
Углеводы	0,39		

Аминокислотный скор, %

Валин	113,39	Изолейцин	112,99	Метионин + Цистин	111,95
Лейцин	115,84	Треонин	112,63	Фенилаланин + Тирозин	126,07
Лизин	153,78	Триптофан	123,34		

Коэффициенты / биологическая и энергетическая ценность

Коэффициент КРАС, %	9,297	Биологическая ценность, %	90,703
Коэффициент утилитарности	0,916	Энергетическая ценность	
Коэффициент сопоставимой избыточности	0,033	в ккал	277,791
		в кДж	1161,165

Рисунок 27. – Окно проектирования (контроль)

Проектирование продукта

Массовая доля, %

Влага	61,5		
Белок	16,45	Аминокислотный состав	Витаминный состав
Жир	19,2	Жирокислотный состав	Минеральный состав
Углеводы	0,4		

Аминокислотный скор, %

Валин	109,92	Изолейцин	109,99	Метионин + Цистин	105,36
Лейцин	110,76	Треонин	105,23	Фенилаланин + Тирозин	123,92
Лизин	140,74	Триптофан	119,29		

Коэффициенты / биологическая и энергетическая ценность

Коэффициент КРАС, %	10,425	Биологическая ценность, %	89,575
Коэффициент утилитарности	0,904	Энергетическая ценность	
Коэффициент сопоставимой избыточности	0,038	в ккал	247,627
		в кДж	1035,083

Рисунок 28. – Окно проектирования (опыт)

Как видно из рисунков 27 и 28 пользователь также может дополнительно получить информацию об аминокислотном, жирнокислотном, витаминном и минеральном составах продукта. Для этого необходимо нажать на соответствующие кнопки. В таблице 11 представлен аминокислотный состав мясного комбинированного продукта.

Таблица 11 – Сравнительные данные аминокислотного состава эмульгированного мясного продукта комбинированного состава, по среднему значению

Показатели	Контроль (расчетные данные)	Контроль (экспериментальные данные)	Опыт (расчетные данные)	Опыт (экспериментальные данные)	Эталон Белок ФАО / ВОЗ, % к белку
Незаменимые аминокислоты, г/100 г белка					
Валин	5,67	5,60	5,50	5,43	5,00
Лейцин	8,11	7,73	7,75	7,39	7,00
Лизин	8,46	6,54	7,74	5,98	5,50
Изолейцин	4,52	4,34	4,40	4,22	4,00
Треонин	4,51	4,42	4,21	4,13	4,00
Триптофан	1,23	1,21	1,19	1,17	1,00
Метионин+Цистин	3,92	3,88	3,69	3,66	3,50
Фенилаланин+Тирозин	7,56	7,39	7,44	7,28	6,00

На примере сравнения исследования аминокислотного состава расчетных и экспериментальных данных получены адекватные показатели в пределах статистической погрешности. Использование программы расчета нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов позволяет осуществлять проектирование и оптимизацию рецептур мясных продуктов без осуществления трудоемких и дорогостоящих операций на производстве при проведении контрольных (опытных) выработок продукции. При этом оптимизация рецептур осуществляется не только по химическому составу, но и

с прогнозным расчетом аминокислотного, жирнокислотного, витаминного и минерального состава. Программа также позволяет рассчитывать биологическую и энергетическую ценность мясного продукта при использовании более дешевого сырья и ингредиентов при снижении содержания мясного белка.

Наряду с этим программа рассчитывает не только широко используемые в практике показатели (КРАС, коэффициент утилитарности, биологическая ценность), но и определяет индекс незаменимых аминокислот (ИНАК), рассчитывает показатель Карпаци-Линдера-Варги, показатель аминокислотного соответствия белка в геродиетическом продукте, предложенный Юдиной С.Б. с соавторами.

На примере пяти мясорастительных композиций для геродиетического питания (таблица 12) рассмотрены перечисленные показатели (таблица 13).

Таблица 12 – Рецептурный состав мясорастительных композиций

Ингредиенты	Рецептурная композиция геродиетической направленности				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Говядина 1 с.	30	40	-	-	30
Конина	-	-	50	50	-
Мясная обрезь говяжья	40	-	-	-	40
Мясо голов	-	20	-	-	-
Крупа кукурузная	19,4	-	-	-	19,95
Толокно овсяное	8,35	-	1,6	-	-
Геркулес	-	-	-	-	8,55
Крупа рисовая	-	-	-	6	-
Гречиха	-	8	-	-	-
Пшено	-	-	-	14	-
Яичный порошок	-	-	6,4	-	-
Яйцо куриное	-	-	-	20	-
Капуста белокочанная	-	-	32	-	-
Морковь красная	2,25	32	10	10	1,5

Таблица 13. – Качественные показатели белка и аминокислотного состава

Ингредиенты	Рецептурная композиция геродиетической направленности				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Незаменимые аминокислоты, г/100 г белка					
Изолейцин	4,15	3,76	4,35	4,38	4,06
Лейцин	8,65	7,32	7,06	7,74	8,62
Лизин	6,31	7,03	6,67	6,68	6,38
Метионин+Цистин	3,56	3,35	3,64	3,81	3,62
Фенилаланин+Тирозин	6,97	6,22	6,67	6,98	7,09
Треонин	3,61	3,43	3,07	3,21	3,72
Триптофан	0,94	0,93	0,96	1,04	0,96
Валин	5,39	4,99	4,88	4,93	5,36
Лимитирующая аминокислота (скор)	Треонин	Треонин	Треонин	Треонин	Треонин
КРАС, %	16,25	14,79	25,30	25,95	14,30
БЦ, %	83,75	85,21	74,70	74,05	85,70
Коэффициент утилитарности, доли ед.	0,82	0,83	0,74	0,75	0,84
Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК), доли ед.	1,06	1,00	1,01	1,05	1,07
К (аминокислотное соответствие белка в геродиетическом продукте), доли ед.	0,63	0,55	0,73	0,73	0,61

Согласно набору общепринятых показателей, предложенным Роговым И.А. и Липатовым Н.Н. (мл.), рецептуры 2 и 5 наиболее оптимальны (биологическая ценность в этих рецептурах приблизительно равна 85 %). Однако, для продукта геродиетической направленности показано целесообразность показателя аминокислотного соответствия белка (Юдина С.Б. с соавторами, 1999) [73, 74], накладываемый на соотношение массовых долей таких аминокислот, как метионин, цистин, триптофан, лизин, а также с учетом

роли изолейцина, лейцина, фенилаланина и тирозина, как геронтологических конкурентов триптофана. Поэтому оптимальными являются рецептуры 3 и 4.

Заключение по главе 4

Разработана программа расчета нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов с базой данных. Использование программы позволяет осуществлять проектирование и оптимизацию рецептур мясных продуктов без осуществления трудоемких и дорогостоящих операций на производстве при проведении контрольных (опытных) выработок продукции. При этом оптимизация рецептур осуществляется не только по химическому составу, но и с прогнозным расчетом аминокислотного, жирнокислотного, витаминного и минерального состава. Программа также позволяет рассчитывать биологическую и энергетическую ценность мясного продукта при использовании более дешевого сырья и ингредиентов при снижении содержания мясного белка.

Глава 5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ»

Персонализированное питание преследует идею индивидуализации [138], рекомендации, советы по питанию должны быть построены не на среднестатистических нормах потребления пищевых нутриентов, применяемых для половозрастных групп населения, дифференцированных по уровню физической активности.

В персонализированном питании, как и в других научных областях на раннем этапе развития используется множество концепций и дескрипторов, например, точное питание, многослойное питание, индивидуальное питание.

По мере перехода от стратифицированного к персонализированному и высокоточному питанию становится необходимым применять все больше и больше показателей или характеристик для достижения желаемой цели. Например, стратификация может осуществляться с использованием одного или нескольких параметров, таких как возраст, пол или состояние здоровья. При персонализированном питании необходимо учитывать сложность взаимосвязей между индивидуальной диетой и фенотипом, для достижения цели точного питания необходимо будет использовать широкий диапазон показателей, возможно, включая подходы “больших данных”.

На данном этапе исследований придерживаюсь концепции создания продуктов «индивидуально подобранного питания».

В 2016 г. в Японии была представлена концепция «Общество 5.0», предлагающая более глубокое и расширенное использование цифровых технологий во всех сферах жизни человека. Согласно данной стратегии, передовые технологии, проникнув во все сферы жизни, должны привести к появлению новых форм и видов бизнеса.

Одной из Целей устойчивого развития Общества 5.0. является улучшение состояния питания благодаря использованию «умных продуктов», произведенных передовыми биотехнологическими методами.

Для разработки «умных» пищевых продуктов, оказывающих функциональное воздействие на организм человека, нивелирующих риски возникновения заболевания, необходимо учитывать множество различных факторов (физико-химических, структурно-механических, функционально-технологических и т.д.). «Разыгрывание» (имитация) всех возможных структурных соотношений и ограничений возможно только с применением виртуальной модели продукта.

Термин «цифровой двойник» появился еще в 2003 году в рамках чтения дисциплины «Управление жизненным циклом продукции» в Технологическом институте Флориды (<https://www.fit.edu/>) [123].

Термин цифровой двойник имеет множество определений [89, 120, 97, 161, 84, 163].

Для «цифрового двойника» пищевого продукта актуально, объективно и реалистично определение [161] – «использование цифровой копии физической системы для оптимизации в реальном времени».

Решение проблем индивидуального (персонализированного питания) с учетом множества факторов, таких как состояние здоровья, образ жизни, клинические факторы, этническая принадлежность, культурные предпочтения и т.д. может быть связано с разработкой специализированных продуктов питания.

В данной главе предлагается подход к построению «цифрового двойника» пищевого продукта на примере *мясного продукта антисклеротического действия*.

«Цифровой двойник» пищевого продукта представляет собой виртуальную модель этого продукта, а именно его математическую модель (имитационную модель), сочетающую в себе все многообразие факторов от химического состава, функционально-технологических свойств до

органолептических показателей. Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта [40].

Инженеры-технологи, используя «цифровой двойник» пищевого продукта перед запуском его в производство, могут проанализировать пищевую, биологическую и энергетическую ценность и др. характеристики продукта.

Виртуальная имитационная модель позволит технологам 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.

Ученым «цифровой двойник» позволит получать интерполяционные и экстраполяционные данные, не проводя дополнительных лабораторных исследований со степенью достоверности 95% (или $p < 0,05$).

На примере моделирования рецептуры и технологии мясного продукта для геродиетического питания (вариант 1) и детского питания (вариант 2) рассмотрим механизм создания «цифрового двойника» пищевого продукта.

Одной из главных задач при создании функционального и/или специализированного питания является восполнение недостающих нутриентов в рационе питания, а также снижение риска развития и профилактики того или иного заболевания.

Постановка задач структурной оптимизации на разных уровнях описания технологии «цифрового двойника» пищевого продукта сводится к минимизации отклонений фактических параметров от заданных нормативных (эталонных, желаемых) значений с нахождением баланса по выбранным показателям между входными и выходными материальными потоками.

«Цифровой двойник» пищевого продукта позволит сотрудникам пищевых предприятий оперативно реагировать на изменение свойств и видов сырьевых ингредиентов, изменение потребительских предпочтений и создавать продукты с заранее заданным химическим составом, пищевой ценностью и функциональной направленностью. Оптимальные решения этих задач при проектировании пищевых продуктов могут быть достигнуты с помощью их формализованных математических описаний – математических моделей, отражающих в аналитическом виде множества функциональных связей между технологическими, экономическими и другими параметрами сырьевых ингредиентов, требуемыми характеристиками готовых изделий (целевая функция или критерий оптимизации) и рядом ограничений, вытекающих из требований нормативной документации.

Первый этап связан с анализом сырья.

Для **варианта 1**, предназначенного для нивелирования патологических процессов и снижения риска развития гиперлипидемии и атеросклероза, составлена параметрическая модель функционального продукта (таблица 14).

Таблица 14. – Параметрическая модель функционального продукта для диетического питания с целью снижения риска развития и профилактики атеросклероза.

Группа свойств	№	Наименование параметра
Критические свойства	1	Содержание тканеспецифичных пептидов
	2	Содержание Апо или Содержание пре-Апо А-1
Существенные свойства	3	Содержание белка: аминокислотный состав – полноценный, неполноценный
	4	Содержание жира: насыщенные жирные кислоты, ненасыщенные жирные кислоты
	5	Содержание золы: макроэлементы,

		микроэлементы
	6	Содержание витаминов: водорастворимых, жирорастворимых
	7	Содержание воды: свободная, прочно связанная
	8	Содержание углеводов: усвояемые, неусвояемые
	9	Энергетическая ценность: степень биологического окисления
	10	Структурно-механические свойства
Второстепенные свойства	11	Внешний вид
	12	Консистенция
	13	Вкус
	14	Запах
	15	Цвет
	16	Сочность

К критическим свойствам, однозначно определяющим возможность использования сырья для профилактики атеросклероза, отнесены наличие тканеспецифичных пептидов, в том числе биомаркеров Апо 1 или пре Апо А 1.

Исходя из начальных условий для *мясного сырья* – содержание белка не менее 18 %; содержание жира не более 15 %; присутствие тканеспецифичных пептидов с молекулярными массами $809,4 \pm 1,0$; $776,5 \pm 1,0$; $765,6 \pm 1,0$; $739,2 \pm 1,0$; $710,8 \pm 1,0$; $229,2 \pm 1,0$; $162,1 \pm 1,0$; $156,0 \pm 1,0$; $148,1 \pm 1,0$; $140,2 \pm 1,0$ и $133,1 \pm 1,0$ кДа; присутствие Апо 1 (участвует в формировании липопротеинов высокой плотности) или присутствие пре-Апо А-1 (участвует в подавлении окислительного стресса) – были выбраны в качестве основного сырья: свиная аорта, сердце свиное.

Вариант 2 предназначен для ликвидации дефицитных состояний – гиповитаминозов, недостатка микроэлементов (в частности йода), приводящих к развитию ряда заболеваний. Для усвоения йода из комплекса жирная кислота-йод в организме человека должна присутствовать аминокислота метионин (связывает 56-60 % йода).

Ограничительными параметрами для разработки рецептуры продукта является для мясного сырья – содержание белка не менее 16 % и содержание жира не выше 16 %; для растительных масел – содержание витамина Е не менее 10 мг; для растительного сырья – содержание β -каротина не менее 5 мг; для йодсодержащего сырья – содержание йода не менее 0,1 %.

В результате работы оператора с базой данных был получен перечень сырьевых компонентов животного и растительного происхождения, которые могут быть использованы в рецептуре йодобогащенного продукта при указанных выше граничных условиях.

Для детского питания возможно использовать такое мясное сырье, как говядина 1 категории и мясо поросят (выбор связан с основным критерием – наличие аминокислот: тирозин, фенилаланин, пролин и гистидин; ПНЖК).

Для растительных масел – масло соевое, масло кукурузное, в которых, наряду с высоким содержанием витамина Е, содержится достаточное количество линолевой и линоленовой кислот, а также масло подсолнечное и масло арахисовое, благодаря высокому содержанию витамина Е и ПНЖК.

При выборе растительного компонента – источника β -каротина очевидным является выбор моркови красной из-за высокого содержания β -каротина в ее составе. Наряду с этим аминокислотный и витаминный составы моркови содержит гистидин, фенилаланин, тирозин и пролин, необходимых для молодого организма и, способствующих лучшему усвоению йода.

В качестве йодсодержащего сырья – экстракт фукуса – продукт переработки бурой водоросли фукус, полученный путем водной экстракции

бурой морской водоросли фукус (*Fucus vesiculosus* L.) с последующей отгонкой экстрагента и получением сухого экстракта методом распылительной сушки.

Варьируя структурными соотношениями рецептурных составляющих с учетом заданных ограничений, мы видим, как меняется пищевая и биологическая ценности продукта, отношение между белком и жиром и т.д.

При проектировании продуктов функционального назначения, например, мясного геродиетического продукта, одно из главных ограничений в задачах оптимизации вытекает из критерия аминокислотного соответствия белка, определяющего соотношение массовых долей таких аминокислот, как метионин, цистин, триптофан, лизин с учетом роли изолейцина, лейцина, фенилаланина и тирозина как геронтологических конкурентов триптофана [22].

Математическая запись критерия представляет собой

$$K = \frac{a_{(Met+Cys)}}{a_{Lys} \cdot C_{Trp}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^4 a_{jn}}{\sum_{j=1}^4 a_{jз}} = 1 \quad (46)$$

где K – коэффициент аминокислотного соответствия, дол. ед.; $a_{(Met+Cys)}$, a_{Lys} – массовые доли аминокислот метионина + цистина, лизина, г/100 г белка; C_{Trp} – скор аминокислоты триптофан в белке геродиетического продукта по отношению к эталону ФАО/ВОЗ, дол. ед.; $a_{jn}, a_{jз}$ – массовые доли j -ой аминокислоты в белке и эталоне ФАО/ВОЗ соответственно, г/100 г белка; индекс j отождествляет соответственно 1 – аминокислота изолейцин; 2 – аминокислота лейцин; 3 – аминокислота фенилаланин; 4 – аминокислота тирозин.

С помощью этого критерия (в идеале $K=1$) можно осуществлять количественную оценку состава белка проектируемых геродиетических продуктов.

Медико-биологические требования, предъявленные к геродиетическим продуктам по соотношению массовых долей насыщенных (НЖК),

мононенасыщенных (МНЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот, должны соответствовать соотношению 3:6:1. В математической постановке, задача выглядит следующим образом:

$$\sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^m q_{kj} l_j x_j + \sum_{k=8}^{10} \sum_{j=1}^m q_{kj} l_j x_j < 9 \sum_{k=11}^{13} \sum_{j=1}^m q_{kj} l_j x_j \quad (47)$$

где q_{kj} - массовая доля k-ой жирной кислоты в жире j-го рецептурного компонента, %; l_j - массовая доля жира в j-ом компоненте рецептуры, %; x_j - массовая доля j-го жиросодержащего компонента рецептуры, %; индекс k отождествляется, соответственно, k=1-7 – НЖК; k=8-10 – МНЖК; k=11-13 – ПНЖК.

Структурно-параметрическая модель такого продукта складывается из существующих отклонений от норм и правильном подборе массовых долей рецептурных компонентов так, чтобы продукт отвечал следующим условиям:

- отношение массовой доли белка к массовой доле жира должно составлять 1,2

$$\sum_{j=1}^m b_j^a x_j / \sum_{j=1}^m b_j^{\text{жс}} x_j = 1,2 \quad (48)$$

где $b_j^a, b_j^{\text{жс}}$ – массовая доля соответственно белка и жира в j-ом рецептурном компоненте; x_j – массовая доля j-ой компоненты рецептуры; m – количество компонентов в рецептуре;

- массовая доля аминокислоты лизин по отношению к массовой доле аминокислот метионин + цистин должно стремиться к единице

$$\sum_{j=1}^m [a_{\text{лиз}} - (a_{\text{мет}} + a_{\text{цис}})] \cdot b_j^a x_j \leq \text{eps} \quad (49)$$

где $a_{\text{лиз}}, a_{\text{мет}}, a_{\text{цис}}$ – массовые доли аминокислот лизина, метионина и цистина, г / 100 г белка.

- массовая доля аминокислоты триптофан должна быть менее 1 г / 100 г белка

$$\sum_{j=1}^m a_{mpn} b_j^a x_j \geq 1 \quad (50)$$

где a_{mpn} – массовая доля аминокислоты триптофан, г / 100 г белка.

- соотношение массовых долей НЖК (насыщенных жирных кислот), МНЖК (моновенасыщенных жирных кислот) и ПНЖК (полиненасыщенных жирных кислот) должно соответствовать следующему ряду чисел 3:6:1

$$\begin{aligned} 6 \sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j &= 3 \sum_{k=8}^{10} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j; \\ \sum_{k=1}^7 \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j + \sum_{k=8}^{10} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j &= \sum_{k=11}^{13} \sum_{j=1}^m q_{kj} b_j^{\text{жк}} x_j \end{aligned} \quad (51)$$

где $k=1-7$ – соответствует НЖК; $k=8-10$ – МНЖК; $k=11-13$ – ПНЖК; q_{kj} – массовая доля k -ой жирной кислоты в j -м компоненте рецептуры, г / 100 г жира.

В качестве целевой функции был взят критерий аминокислотного соответствия

$$P(A) = \sum_{k=1}^n \left(A_k^0 - \frac{\sum_{j=1}^m a_{ki} b_{ij} x_j}{\sum_{j=1}^m b_{ij} x_j} \right)^2 \rightarrow \min \quad (52)$$

где a_{ki} – удельное содержание k -го моноструктурного ингредиента в i -м элементе химического состава; b_{ij} – удельное содержание i -го элемента химического состава в j -м рецептурной компоненте проектируемого продукта.

В результате выполнения расчетов методом имитационного моделирования с учетом вышеизложенного было получено следующее распределение массовых долей рецептурных ингредиентов (таблица 15) с соответствующей оценкой пищевой и биологической ценности фарша продукта (таблицы 16, 17), а также содержания витаминов (таблица 18).

Таблица 15. – Рецептура йодобогащенной вареной колбасы

Перечень ингредиентов	на 100 кг сырья
Говядина 1 категории	45,82
Мясо поросят	34,48
Морковь красная	8,35
Масло соевое	8,35
Изолированный соевый белок «СУПРО 595»	3,00
Вода для гидратации соевого белка	15,00

Таблица 16. – Пищевая и биологическая ценность фарша йодобогащенной вареной колбасы

Наименование	Содержание
Белок, %	18,43
Жир, %	16,76
Незаменимые аминокислоты, г /100 г белка	
Валин	5,03
Изолейцин	4,51
Лейцин	6,75
Лизин	9,06
Метионин + Цистин	2,90
Треонин	4,03
Триптофан	1,49
Фенилаланин + Тирозин	11,54
Заменимые аминокислоты, г /100 г белка	
Аланин	4,87
Аргинин	6,11
Аспарагиновая кислота	6,82
Гистидин	4,49

Глицин	4,21
Глутаминовая кислота	12,70
Оксипролин	0,83
Пролин	2,46
Серин	3,30

Как видно из таблицы 15, наряду с ранее выбранными мясными и растительными компонентами, в рецептуре колбасы использована добавка «Супро 595» – соевый изолированный белок. Это обстоятельство связано с тем, что при компьютерном проектировании в программу были введены ограничения, не только по составу, но и по функциональным и органолептическим характеристикам готового продукта.

Таблица 17. – Содержание жирных кислот фарша йодобогащенной вареной колбасы

Наименование	Количество
Насыщенные	10,09
в том числе	
Миристиновая	0,24
Пентадекановая	0,04
Пальмитиновая	7,00
Маргариновая	0,11
Стеариновая	2,64
Мононенасыщенные	13,18
в том числе	
Миристолеиновая	0,11
Пальмитолеиновая	0,40
Олеиновая	12,67
Полиненасыщенные	30,73

в том числе	
Линолевая	25,53
Линоленовая	5,19
Арахидоновая	0,01

Технологией приготовления колбасы предусматривается введение в его состав воды на гидратацию рецептурных ингредиентов – белкового ингредиента немясного происхождения.

Таблица 18. – Содержание витаминов фарша йодобогащенной вареной колбасы

Наименование	Количество
β-каротин, мг	1,00
Витамин Е, мг	1,85
Витамин С, мг	0,42
Витамин В ₆ , мг	0,18
Витамин В ₁₂ , мкг	1,19
Биотин, мкг	1,44
Ниацин, мг	3,48
Пантатеновая кислота, мг	0,25
Рибофлавин, мг	0,14
Тиамин, мг	0,31
Фолацин, мкг	4,60
Холин, мг	32,07

В соответствии с разработанной рецептурой была изготовлена колбаса вареная и проведена комплексная оценка ее качества по следующим показателям:

- общий химический состав, который отражает массовую долю влаги, белка, жира и золы;
- биохимические показатели – аминок- и жирнокислотный состав;

- содержание йода;
- органолептические показатели.

При изучении качественных показателей разработанной колбасы за контроль был выбран традиционный вид Колбаса вареная диетическая первого сорта (ТУ 9213-530-00419779-00).

В таблице 19 представлен общий химический состав, соотношение *жир* : *белок* и энергетическая ценность исследуемых колбас.

Анализ результатов свидетельствует о том, что по содержанию белка йодобогатенная колбаса значительно превосходит контрольный образец. За счет включения в рецептуру йодобогатенной колбасы растительного масла как источника ПНЖК массовая доля жира в нем выше, чем в диетической. Соответственно, энергетическая ценность йодобогатенной колбасы также будет несколько превышать этот показатель в сравниваемом образце. Однако жировая составляющая, в основном, представлена ПНЖК, присутствие которых в продукте дает возможность рассматривать продукт как профилактический. Соотношение *белок* : *жир* в йодобогатенной колбасе соответствует медико-биологическим требованиям.

Таблица 19. – Химический состав колбас

Показатели	Вид колбасы	
	Йодобогатенная	Диетическая
Влага, %	63,09	71,60
Белок, %	18,43	12,10
Жир, %	16,76	13,50
Зола, %	1,02	2,80
Отношение: белок : жир	1 : 0,98	1 : 1,12
Энергетическая ценность, кКал	215	170

В таблице 20 представлены результаты экспериментальных исследований аминокислотного состава (незаменимых аминокислот) колбас – йодобогащенной и диетической.

При анализе данных, представленных в таблице 20, установлено, что в йодсодержащей колбасе присутствуют аминокислоты метионин, тирозин, фенилаланин и пролин в достаточном количестве для образования прочных химических соединений при взаимодействии йода с перечисленными аминокислотами белков мяса. Содержание аминокислоты гистидин, необходимой для детского организма, составляет 4,49 г /100 г белка, что соответствует медико-биологическим требованиям, и превышает содержание этой аминокислоты в колбасе диетической. При оценке коэффициента аминокислотного соответствия для двух сравниваемых колбас установлено явное преимущество йодсодержащей колбасы, поскольку ее аминокислотный состав в большей степени соответствует идеальному белку (для идеального белка коэффициент аминокислотного соответствия равен 1).

Таблица 20. – Аминокислотный состав колбас

Наименование аминокислот	на 100 г белка	
	Йодобогащенная	Диетическая
Незаменимые аминокислоты, г /100 г белка		
Валин	5,03	5,26
Изолейцин	4,51	4,36
Лейцин	6,75	8,83
Лизин	9,06	6,97
Метионин + Цистин	2,90	3,77
Треонин	4,03	4,08
Триптофан	1,49	1,36
Фенилаланин + Тирозин	11,54	7,84
Заменимые аминокислоты, г /100 г белка		

Аланин	4,87	5,84
Аргинин	6,11	4,89
Аспарагиновая кислота	6,82	9,12
Гистидин	4,49	3,74
Глицин	4,21	4,39
Глутаминовая кислота	12,70	17,39
Оксипролин	0,83	1,07
Пролин	2,46	3,03
Серин	3,30	3,21
Коэффициент аминокислотного соответствия	1,08	1,17

При лабораторном анализе йодобогащенной и диетической колбас методом газовой хроматографии были получены результаты исследований, характеризующие жирнокислотный состав исследуемых образцов. Содержание некоторых жирных кислот, количество которых более значимо, приведено в таблице 21. Кроме того, показано содержание насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот.

Анализ данных таблице 21 показал, что для йодобогащенной колбасы содержание полиненасыщенных жирных кислот, присутствие которых в продукте способствует лучшему усвоению йода и, кроме того, участвующих в процессах обмена веществ и регулирующих отложение холестерина, благотворно воздействующих на развитие нервной системы и органов чувств, составляет 30,73, а для диетической – 1,83.

Таблица 21. – Жирнокислотный состав колбас

Наименование жирных кислот	мг / на 1 г липида	
	Йодобогатенная	Диетическая
Насыщенные	10,09	4,80
в том числе		
Миристиновая	0,24	0,45
Пентадекановая	0,04	0,02
Пальмитиновая	7,00	2,90
Маргариновая	0,11	0,04
Стеариновая	2,64	1,39
Мононенасыщенные	13,18	6,31
в том числе		
Миристолеиновая	0,11	0,04
Пальмитолеиновая	0,40	0,87
Олеиновая	12,67	5,40
Полиненасыщенные	30,73	1,83
в том числе		
Линолевая	25,53	1,63
Линоленовая	5,19	0,13
Арахидоновая	0,01	0,07

В таблице 22 представлен витаминный состав исследуемых колбас, свидетельствующий о том, что в йодобогатенной колбасе присутствуют β -каротин и витамин Е, наличие которых в продукте способствует лучшему усвоению йода. Кроме того, они участвуют в процессах обмена веществ, регулируют содержание холестерина в организме, благотворно воздействуют на развитие нервной системы и органов чувств.

Таблица 22. – Витаминный состав колбас

Наименование витаминов	Йодобогатенная	Диетическая
β-каротин, мг	1,00	0,00
Витамин Е, мг	1,85	0,28
Витамин С, мг	0,42	0,00
Витамин В ₆ , мг	0,18	0,24
Витамин В ₁₂ , мкг	1,19	0,00
Биотин, мкг	1,44	0,00
Ниацин, мг	3,48	3,80
Пантатеновая кислота, мг	0,25	0,00
Рибофлавин, мг	0,14	0,13
Тиамин, мг	0,31	0,06
Фолацин, мкг	4,60	4,23
Холин, мг	32,07	0,00

При определении содержания йода в йодобогатенной колбасе для детского питания установлено, что в 100 г готового продукта, а именно такое количество вареных колбас в сутки рекомендуется для питания детей, содержится 0,049 мг йода, что соответствует медико-биологическим требованиям.

При проведении органолептической оценки исследуемых 2-х видов колбас принципиальных различий дегустаторами выявлено не было.

Таким образом, спроектированный мясной продукт для детского питания – колбаса вареная йодобогатенная отвечает требованиям потребителя, а по своему составу превосходит традиционный продукт, так как отвечает установленным медико-биологическим требованиям.

Мясное сырье многокомпонентно, изменчиво по составу и свойствам, что может приводить к значительным колебаниям в качестве готовой продукции.

В связи с этим особенно важное значение приобретает знание функционально-технологических свойств (ФТС) различных видов основного сырья и их компонентов, понимание роли вспомогательных материалов и характера изменения ФТС под воздействием внешних факторов.

Таким образом, *второй этап* связан с проектированием структурных форм пищевого продукта. Оптимальная рецептура пищевого продукта на I этапе не гарантирует превращения в процессе технологической обработки в устойчивую систему с требуемыми структурно-механическими, функционально-технологическими показателями.

Приобретение пищевой композицией отдельных структурных форм (консистенция, внешний вид, связанность, текстура и т.п.) обусловлено особенностями протекания коллоидно-химических процессов по типу «белок-белок», «белок-вода», «белок-жир», «вода-белок-жир».

Белковый компонент рецептуры, как правило, выполняющих функцию основного структурообразователя в мясных системах (даже при его высоком количественном содержании и сбалансированном аминокислотном составе), может в различной степени проявлять свои нативные свойства в зависимости от его природы (мышечный, соединительный, растительный, молочный и т.п.), структуры (фибрилярный, глобулярный), условий среды (рН, температура, ионная сила) и многих других факторов (степень измельчения сырья, глубина автолитических изменений, и т.п.) [15].

Для реализации второго этапа необходимо располагать сведениями о фактических значениях ФТС основного сырья [91], вспомогательных ингредиентов, кинетике протекания биохимических и коллоидно-химических процессов (в первую очередь – структурирования) в многокомпонентных пищевых системах, аналитическими и эмпирическими зависимостями,

характеризующими основные закономерности поведения гетерогенных дисперсных систем при варьировании физико-химических факторов.

В базах данных о пищевых продуктах должна содержаться теперь информация не только по основным показателям – влага, белок, жир, энергетическая ценность, аминокислотный, жирнокислотный, витаминный и минеральные составы, но и сведения о функционально-технологических свойствах сырья животного и растительного происхождения.

В качестве примера приведем основные характеристики функционально-технологических свойств некоторых видов белоксодержащего сырья (таблица 23). Они могут быть использованы для определения условий совместимости компонентов в рецептуре, оптимизации выбора соотношений ингредиентов, с учетом вероятности взаиморегулирования свойств, как отдельных составляющих, так и получаемой системы в целом.

Таблица 23. – Основные функционально-технологические свойства некоторых видов мясного сырья [15].

Вид сырья	До термообработки							
	ВСС к общей влаге, %		Пластичность, $\times 10^{-1}$ м ² /кг		Водопоглощение, % к исходной массе		Жиропоглощение, % к исходной массе	
	3 мм	куттер	3 мм	куттер	3 мм	куттер	3 мм	куттер
Говядина 2 с.	78,0 $\pm$ 2,8	87,0 $\pm$ 5,0	9,74 $\pm$ 0,4	11,76 $\pm$ 0,8	56,2 $\pm$ 4,4	55,3 $\pm$ 3,8	28,4 $\pm$ 3,0	30,9 $\pm$ 1,6
Свинина полужирная	73,8 $\pm$ 6,0	74,6 $\pm$ 3,8	9,46 $\pm$ 0,3	11,5 $\pm$ 0,5	34,9 $\pm$ 2,3	64,2 $\pm$ 4,2	22,5 $\pm$ 1,2	28,6 $\pm$ 2,1
Свинина жирная	-	-	10,52 $\pm$ 0,2	12,31 $\pm$ 0,3	29,2 $\pm$ 2,4	32,2 $\pm$ 2,6	19,8 $\pm$ 2,0	23,4 $\pm$ 1,7
Рубец говяжий	49,8 $\pm$ 3,7	65,4 $\pm$ 4,2	5,8 $\pm$ 0,6	7,7 $\pm$ 0,4	53,2 $\pm$ 4,4	58,3 $\pm$ 3,8	26,1 $\pm$ 2,2	37,8 $\pm$ 2,5
Легкие говяжьи	94,3 $\pm$ 1,6	96,0 $\pm$ 1,2	11,3 $\pm$ 0,9	11,5 $\pm$ 0,8	30,6 $\pm$ 2,8	35,0 $\pm$ 4,0	25,2 $\pm$ 2,2	32,8 $\pm$ 3,1
Селезенка говяжья	66,6 $\pm$ 3,4	64,2 $\pm$ 4,0	18,1 $\pm$ 0,4	18,8 $\pm$ 0,3	26,0 $\pm$ 2,0	29,3 $\pm$ 2,7	16,6 $\pm$ 1,1	18,2 $\pm$ 0,8
Мясо пищевода	78,2 $\pm$ 3,3	80,2 $\pm$ 2,8	8,1 $\pm$ 0,6	8,7 $\pm$ 0,4	15,1 $\pm$ 1,1	16,5 $\pm$ 1,4	9,8 $\pm$ 0,9	12,2 $\pm$ 1,3
Губы говяжьи	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0	4,2 $\pm$ 0,5	4,8 $\pm$ 0,5	5,1 $\pm$ 0,6	6,1 $\pm$ 0,6	9,34 $\pm$ 0,8	9,8 $\pm$ 0,4

С появлением все более удобных инструментов обработки и хранения больших данных появляется возможность увеличить число вариантов использования и альтернатив для создания «цифрового двойника» пищевого продукта, что в свою очередь, повышает адекватность и обоснованность в принятии решения.

Для расчета функционально-технологических свойств многокомпонентных продуктов используются следующие математические формулы:

1) модель водосвязывающей способности

$$BBC = \sum_{i=1}^N w_i x_i, \quad (53)$$

где w_i - водосвязывающая способность i -го рецептурного компонента;

2) модель жиросвязывающей способности

$$ЖУС = \sum_{i=1}^N l_i x_i, \quad (54)$$

где l_i - жиросвязывающая способность i -го рецептурного компонента;

3) модель водоудерживающей способности

$$ВУС = \sum_{i=1}^N v_i x_i, \quad (55)$$

где v_i - водоудерживающая способность i -го рецептурного компонента;

4) модель предельного напряжения сдвига

$$ПНС = \sum_{i=1}^N q_i x_i, \quad (56)$$

где q_i - показатель предельного напряжения сдвига i -го рецептурного компонента;

5) модель динамической вязкости (η)

$$\eta = \sum_{i=1}^N \frac{V_i x_i}{\eta_i}, \quad (57)$$

где η_i - динамическая вязкость i -го рецептурного компонента;

V_i - объемные доли рецептурных компонентов;

6) модель плотности (ρ)

$$\rho = \left(\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\rho_i} \right)^{-1}, \quad (58)$$

где ρ_i - плотность i -го рецептурного компонента;

7) модель показателя активной кислотности (pH)

$$pH = -\lg \left(\sum_{i=1}^N x_i 10^{-pH_i} \right), \quad (59)$$

где pH_i - показатель активной кислотности i -го рецептурного компонента;

x_i - массовая доля i -го рецептурного компонента в приведенных формулах с (53) по (59).

В процессе производства мясных изделий наиболее критичным в получении гарантированного качества является этап тепловой обработки.

Для расчета термограмм тепловой обработки мясных изделий используют математическую модель, описывающую нестационарное поле температур, содержащих продукт. Математической моделью является параболическое уравнение теплопроводности Фурье, в цилиндрических координатах с переменными коэффициентами, с заданными начальными условиями (начальное поле температур в продукте перед очередным этапом обработки):

$$\frac{dU(r,t)}{dt} = a \frac{d^2 U(r,t)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dU(r,t)}{dr} \quad 0 < r < R, \quad 0 < t < t_k \quad (60)$$

Начальные условия (температура продукта до начала термообработки):

$$U(r,t) = U_0 = \text{const}, \quad t = 0 \quad 0 < r < R \quad (61)$$

Граничные условия (на боковой поверхности изделия):

$$\frac{dU(r,t)}{dr} = S U_{cp}(t) - U(R,t), \quad S = \frac{\alpha}{\lambda}, \quad r = R, \quad 0 < t < t_k \quad (62)$$

Условия симметрии геометрии и нагрева в центре батона

$$\frac{dU(0,t)}{dr} = 0, \quad U(0,t), \quad r = 0, \quad 0 < t < t_k \quad (63)$$

где U – текущая температура продукта;

U_0 – начальная температура продукта;

$U_{\text{ср}}$ – температура греющей среды;

U_k – конечная температура продукта;

R – внешний радиус изделия;

r – радиальная координата;

α – коэффициент теплопередачи;

λ – коэффициент теплопроводности.

В качестве примера решения были взяты следующие исходные данные: коэффициент температуропроводности $a=0,0015$; коэффициент теплоотдачи $\alpha=0,004$; коэффициент теплопроводности $\lambda=0,004$; начальная температура $U_0=15$; продолжительность процесса $T_m=14400$ с. (или 240 мин, или 4 часа); шаг разбиения по времени $l=30$ с.; радиус батона $r=3$; число точек разбиения по радиусу $n=6$.

В результате решения уравнения теплопроводности (неявный метод) на языке программирования R в среде Jupyter Notebook получили распределение температур в течение технологического процесса и построено поле температур внутренних точек (рисунок 29 а, б)

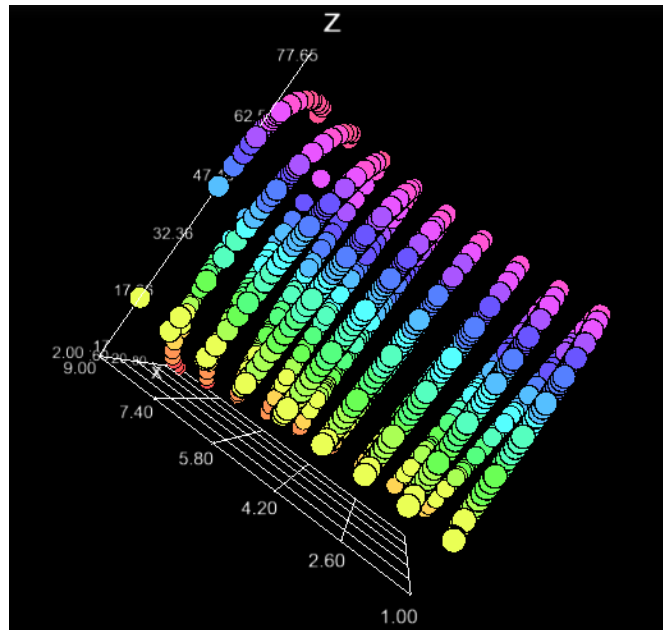


Рисунок 29а. – Визуализация распределения температур в течение технологической операции варки вареного колбасного изделия
(Z – Температура; X – Радиус батона; Y – Время)

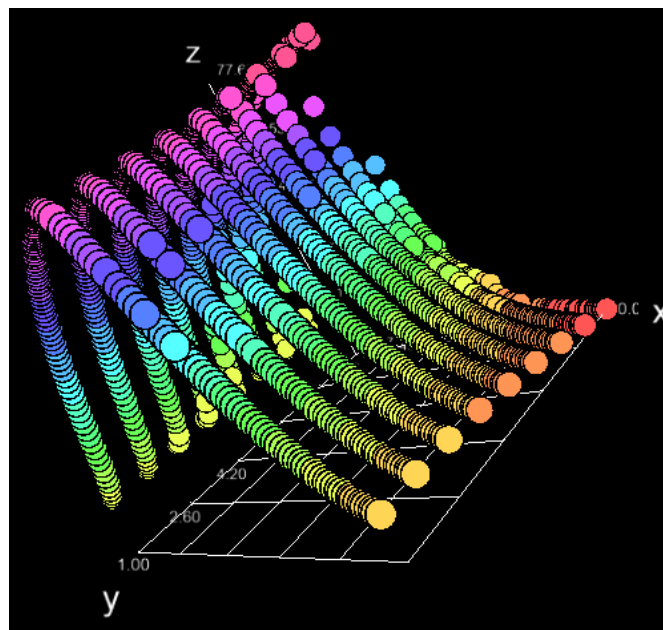


Рисунок 29 б. – Визуализация распределения температур в течение технологической операции варки вареного колбасного изделия
(под другим углом). (Z – Температура; X – Радиус батона; Y – Время)

Поле температур показывает распределение температуры по времени (t), как на поверхности колбасного изделия, так и внутри. Как правило, наибольший интерес у технологов представляет температура на поверхности колбасного изделия, так как процесс нагревания и охлаждения оценивают по ней.

Наряду с этим рассмотрены возможности имитационного моделирования в изучении процесса динамики роста и развития микробных популяций. На языке программирования R в среде Jupyter Notebooks решалась прямая кинетическая задача. Рассмотрены кинетические закономерности роста микробных популяций при периодическом культивировании в рамках приближения, основанного на численном интегрировании уравнений скорости. В качестве метода решения дифференциального уравнения с начальными условиями (задача Коши) использовался одношаговый метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности. Начальными условиями задачи были: число шагов по времени $n=10\,000$; начальная концентрация субстрата $S_0=1$; начальная концентрация микроорганизмов рассматривалась в четырех вариантах $M_0=0.01$, $M_0=0.05$, $M_0=0.1$, $M_0=0.2$, что соответствует 1%, 5%, 10%, 20% соответственно плотности посева культуры; коэффициент сродства субстрата к микроорганизмам $K_s=0.5$.

Дифференциальные уравнения скорости роста (64) и скорости расхода субстрата (65) в безразмерных переменных имеет вид:

$$\frac{dm}{dr} = \frac{ms}{K_s/S_0 + S} \quad (64)$$

$$\frac{ds}{dr} = -\frac{ms}{K_s/S_0 + S} \quad (65)$$

$$s = \frac{S}{S_0}; m = \frac{M}{M_\infty - N_\infty}; p = \frac{P}{P_\infty}; \tau = \mu_m t$$

где s – концентрация субстрата в безразмерных величинах;

m – концентрация биомассы (микроорганизмов) в безразмерных величинах;
 S – концентрация субстрата в физических (размерных) величинах;
 M – концентрация биомассы (микроорганизмов) в физических (размерных) величинах;

S_0 – начальная концентрация субстрата;

M_0 – начальная концентрация биомассы (микроорганизмов);

K_s – константа сродства субстрата к биомассе (микроорганизму);

M_∞ – предельное количество биомассы (микроорганизмов) и продукта, образующихся при бесконечно большом времени протекания процесса. M_∞ связана с начальными условиями: концентрациями субстрата и биомассы (микроорганизмов).

Фрагмент программного кода на языке программирования R представлен на рисунке 30.

```
f1 <- function (t, y, parms){  
  with (as.list (y), {  
    dm.dt <- m*s/(ks+s)  
    ds.dt <- -m*s/(ks+s)  
    list (c(dm.dt , ds.dt))})}
```

```
t0 <- seq (0 ,10 ,0.001)  
ks <- 0.5
```

```
y0 <- c(m=0.01, s=1)  
out1 <- ode (y=y0, t=t0, func=f1, parms=NULL, method="rk4")
```

Рисунок 30. – Листинг программного кода

Проинтегрированные уравнения (64) и (65) с начальными условиями дали следующие результаты (таблица 24).

Таблица 24. – Фрагмент результата решения (вычисления).

time	m	s
0.000	0.01000000	1.0000000
0.001	0.01000667	0.9999933
0.002	0.01001334	0.9999867
0.003	0.01002002	0.9999800
0.004	0.01002670	0.9999733
0.005	0.01003339	0.9999666
...	...	...
9.971	1.007990	0.002009697
9.972	1.007994	0.002005666
9.973	1.007998	0.002001643
...	...	...
9.999	1.008100	0.001899809
10.000	1.008104	0.001895997

Наряду с табличными значениями, получены зависимости концентрации биомассы и исходного субстрата от времени для систем с различным количеством введенного субстрата (рисунки 31, 32).

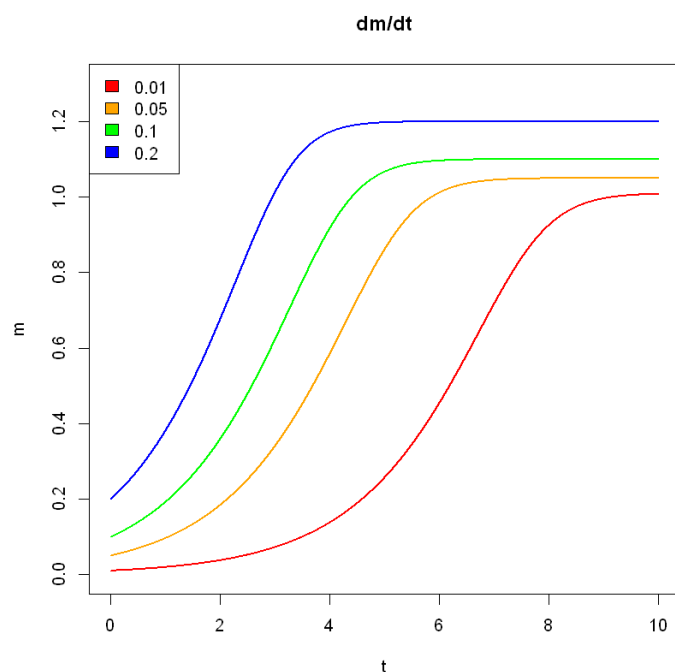


Рисунок 31. – График зависимостей концентрации микроорганизмов от времени в безразмерных единицах для систем с 1% (красная линия), 5% (желтая линия), 10% (зеленая линия), 20% (синяя линия) введенного субстрата

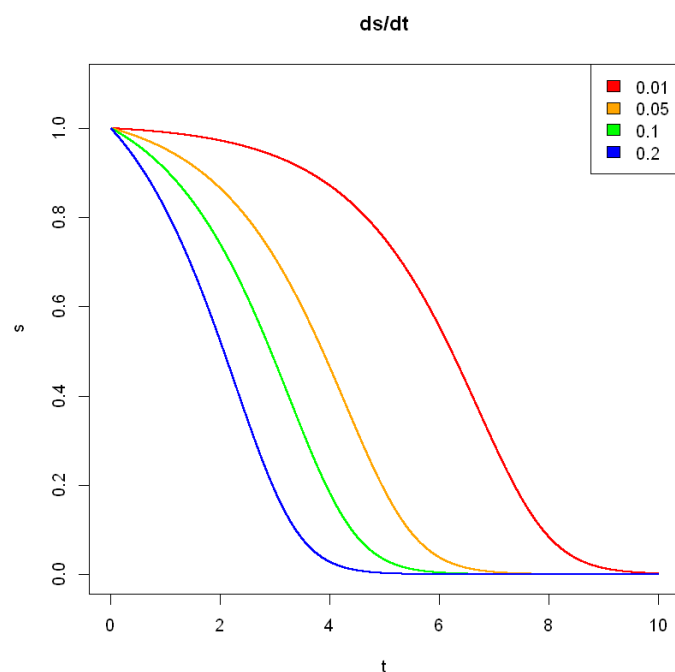


Рисунок 32. – График зависимостей исходного субстрата от времени в безразмерных единицах для систем с 1% (красная линия), 5% (желтая линия), 10% (зеленая линия), 20% (синяя линия) введенного субстрата

Сравнение и анализ полученных в результате расчета графических зависимостей (рисунки 31, 32) свидетельствует о том, что скорость процесса исключительно зависит от количества введенного субстрата. Как видно из рисунков, при посеве с 0.01 (1%, соответствует красной линии) культуры расход субстрата в течении процесса соответствует 6.2 ед. по координате t . При посеве с 0.2 (20%, соответствует синей линии) – 2.1. ед. по координате t . Уменьшение происходит только за счет концентрации вносимого субстрата.

Третий этап – определение органолептической оценки проектируемого продукта методами экспертной оценки с проверкой согласованности.

Таким образом, анализ и проверка оптимальности различных структурных вариантов осуществляется на основе комплексной имитационной модели пищевого продукта, т.е. «цифрового двойника».

Оценка эффективности разработанного пищевого продукта возможна лишь при анализе многочисленных разнородных показателей.

Множество показателей удобно обобщать (свертывать) в единый количественный безразмерный показатель. Для этого приходится вводить для каждого из них безразмерную шкалу, которая должна быть однотипной для всех объединенных показателей. Такой прием делает их сравнимыми.

Одним из более распространенных обобщенных показателей является обобщенная функция Харрингтона [111].

Для оценки качества и адекватности пищевого продукта предлагается использовать [130] функционал – интегральный показатель в виде аддитивной свертки.

Функционал, в первую очередь, определяет соответствие заданным требованиям по химическому составу, функционально-технологическим свойствам и органолептическим показателем. Функционал отражает средневзвешенное суммарное отклонение фактических значений параметров состояния от нормативных. С учетом весовых коэффициентов и выделением определенных групп факторов имеет вид:

$$\Phi(x) = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \sum_{j=1}^{n_i} b_{ij} \left(\frac{x_{ij} - x_{ij}^0}{\Delta x_{ij}^k} \right)} \rightarrow \max \quad (66)$$

где n – число объединяемых показателей;

x_{ij}, x_{ij}^0 – фактическое и желаемое значение;

Δx_{ij}^k – предельное отклонение от желаемого значения для k -го уровня качества;

b_{ij} – весовой коэффициент j -го параметра в i -ой группе;

a_i – коэффициент значимости групп.

Значение коэффициента качества изменяется от 1 при полном совпадении получаемых значений с рекомендуемыми (лучшее качество) до 0 при достижении границы уровня качества (предельное значение), так что при отрицательных значениях функционала не соответствует заданному уровню качества.

При равнозначности всех рассматриваемых показателей n , весовые коэффициенты определяют по формуле:

$$b_{ij} = \frac{1}{n}$$

При неравнозначности весовых коэффициентов для определения весовых коэффициентов может быть использована методика экспертных оценок или метод полного факторного эксперимента, при котором в столбцы функции отклика (выходного параметра) y_{kr} r -го параллельного повторения в k -ом опыте, заносятся значения: 1-0,7 – при отнесении продукта к очень хорошему уровню качества; 0,7-0,3 – хорошему; 0,3-0 – удовлетворительному; 0-(-0,2) – плохому; менее (-0,2) – очень плохому уровню качества.

Заключение по главе 5

При разработке продуктов для персонализированного питания с учетом метаболизма питательных веществ необходимо учесть все многообразие

различных переменных и факторов. В рамках лабораторного научного эксперимента это практически невозможно, и/или связано с большими трудозатратами. Выбрать оптимальный вариант рецептуры возможно при «разыгрывании» различных ситуаций в виртуальном пространстве с помощью цифровой (компьютерной, математической) модели пищевого продукта.

Обобщенная математическая модель должна включать в себя не только физико-химические показатели (жир, белок и т.д.), но и знания зависимостей функциональных, технологических, структурных и механических характеристик от которых зависит превращение оптимальной рецептуры в процессе технологической обработки в устойчивую систему.

Благодаря использованию методов математического моделирования и имитационной модели проектируемого продукта возможно получение «цифрового двойника» пищевого продукта. «Новые» технологии позволяют, применяя «цифровой двойник», учитывать весь комплекс качественных и количественных показателей мясопродуктов для разработки рецептур новых пищевых продуктов сложного состава и характеристик, позволяющих осуществлять немедикаментозную профилактику заболеваний. Тестирование в виртуальном мире экономит время, деньги и ресурсы на проведение физических научных экспериментов.

На примере выбранных мясных продуктов продемонстрирована возможность создания цифровой модели продукта персонифицированного питания, отвечающего всем заложенным требованиям.

Глава 6 АНАЛИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На основе исследования структуры компонентов мясных продуктов с применением микроскопии возможно получение ускоренной оценки фактически использованного сырья. В настоящее время проведение гистологического анализа осуществляется в лабораториях обученным специалистом-гистологом. Используются аппаратно-программные комплексы для гистологических исследований. Однако они далеки от совершенства. В интерпретировании результатов требуется обязательное участие человека. Следовательно, полученные данные носят субъективный характер.

Другой проблемой при проведении гистологического анализа на пищевых предприятиях является отсутствие профессиональных гистологов или не соблюдение условий проведения микроструктурного анализа. И как следствие, полученная оценка может зачастую давать недостоверные и необъективные результаты о качестве входного сырья и готовой продукции.

Для повышения объективности контроля качества пищевой продукции необходимо осуществлять внедрение высокоэффективных интеллектуальных технологий. Автоматизация микроскопии (в разделе анализа среза) и обработки полученных результатов повысит качество и эргономику работы гистолога, а также позволит сформировать банк данных и знаний накопленного опыта исследования.

Таким образом, при анализе гистологических срезов требуется высокая квалификация специалиста, что приводит к риску субъективизации результата. Показана возможность цифровизации процесса качественной и количественной оценки гистологических препаратов. Использование искусственной нейронной сети (ИНС) дает возможность устранить наиболее сложную часть разрешения проблемной ситуации – формализацию задачи и построение математического представления путем обучения сети на экспериментальных данных, т.е. удастся избежать «идеализации» полученных результатов.

Из всего разнообразия базовых принципов, на которых строятся интеллектуальные системы наиболее перспективными в настоящее время являются искусственные нейронные сети (ИНС). Решения на основе ИНС показывают лучшие результаты в области распознавания и классификации образов, по сравнению с другими существующими алгоритмами.

Нейросеть проводит анализ информации и предоставляет возможность оценить, согласуются ли имеющиеся данные с характеристиками, которые она научена распознавать. Принципиальное отличие нейросетевых технологий при обработке информации состоит в том, что вместо строго алгоритмизированного пошагового анализа данных и написания программы вычисления, применяется параллельная обработка всего массива информации и составление обучающей выборки. ИНС применяют для идентификации и классификации информации в случае ограниченных, неполных и нелинейных источников данных. При разработке ИНС основная цель (идея) заключается в минимизации прямого влияния экспериментатора на процесс нахождения решения. Таким образом главное преимущество ИНС – потенциальная способность вырабатывать собственные решения.

Использование ИНС дает возможность устранить наиболее сложную часть разрешения проблемной ситуации – формализацию задачи и построение математического представления путем обучения сети на экспериментальных данных, т.е. удастся избежать «идеализации» полученных результатов.

Характер обучения сети зависит от выбранного типа сети. Для работы со сверточной нейронной сетью используется «обучение с учителем». При этом способе обучения готовится набор данных, представляющих собой ряд наблюдений, для которых указаны значения входных и выходных переменных (данные гистологического анализа → заключение о составе образца → определение фальсификации). Сеть учится устанавливать связь между ними.

Автоматизация процессов визуализации, – это удобно и полезно. Но вопрос в том, каким образом максимально эффективно внедрить ИНС в

рабочий процесс гистологов. Мы не хотим повторять ошибок Digital Pathology Association, которые были несколько лет назад при применении автоматической постановки диагноза [90]. При статистическом анализе применения этого метода в маммографии возникало множество ошибок первого рода (ошибочное отклонение от нулевой гипотезы).

Так, например, в медицинских изысканиях, согласно исследованию, корейских ученых [114], количество ошибок первого рода (то есть ошибочного обнаружения чего-либо) при компьютерной диагностике данных маммографии составляло около 70%. Это означает, что при диагностике здоровых молочных желез несуществующие опухоли были выявлены в более чем половине случаев. Исследование [140], проведенное итальянскими учеными, показало, что в диагностике злокачественных опухолей груди более чем в половине случаев (всего в исследовании приняло участие 250 больных раком и 250 здоровых женщин) признаки болезни ускользают от внимания специалистов.

Поэтому, нужно быть очень аккуратными в выборе архитектуры ИНС и ее обучении. Основная задача состоит в том, чтобы облегчить работу специалистов-гистологов и помочь им в постановке заключения (фальсификат/не фальсификат), а не наоборот.

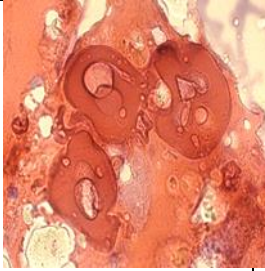
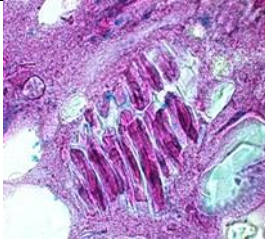
Идентификация состояния сложной мясной системы в реальном времени в условиях неопределенности и риска принятия решения усложняется при недостаточной и нечеткой информации, в качестве решения нами выбран подход интеллектуализации микроструктурного анализа на основе методов искусственного интеллекта с использованием нейросетевых технологий.

Интеллектуальная функция нейросетевого модуля заключается в уточнении и коррекции первоначально установленных характеристик связей между контролируемыми параметрами состояния и цели, а также распознавании и классификации аномальных ситуаций в системе с накоплением достоверных количественных и качественных оценок, по которым

формируется ситуационный классификатор (разметка цифровых снимков гистологических срезов с подробным описанием) и база знаний системы.

Для нахождения основных микроструктурных характеристик (параметры классификации) идентификации, на примере растительных компонентов в составе мясного сырья и готовых продуктов, авторами была разработана структура единой информационной базы данных (БД) гистологических срезов различного вида мясного сырья. Фрагмент БД по растительным компонентам белковой природы представлен в таблице 25, по растительным компонентам углеводной природы – в таблице 26. В качестве идентификационных признаков использовали – форму частиц, размер, тинкториальные свойства частиц (способность окрашиваться гистологическими красителями), для белковых компонентов также фрагменты оболочки боба сои.

Таблица 25. – Идентификационные признаки растительных компонентов белковой природы

Компонент	Форма частиц	Размер	Наличие фрагментов в оболочке боба сои	Тинкториальные свойства (при окрасе гематоксилином и эозином)	Микроструктура
Соевый изолированный белок	Округлые частицы с отверстиями внутри, имеют форму бублика, гантели или цветка	10-110 мкм	Отсутствуют	Частицы окрашиваются в розовый цвет	 Соевый изолированный белок (Об. 40х)
Соевый концентрат	Частицы состоят из клеток цилиндрических (продольный срез) или округлых (поперечный срез),	30-105 мкм	Присутствуют	Частицы окрашиваются в оттенки красного (от темно-розового до ярко-красного цвета), окружены узким ровным	 Соевый концентрат, продольный срез (Об. 40х)

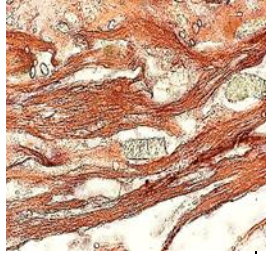
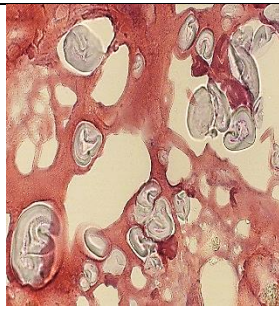
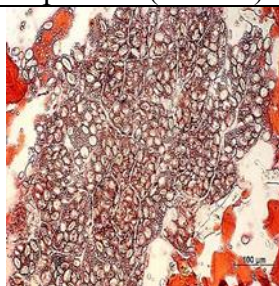
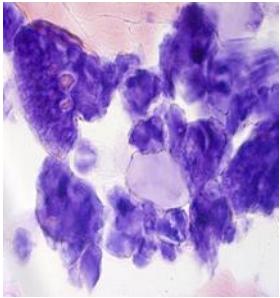
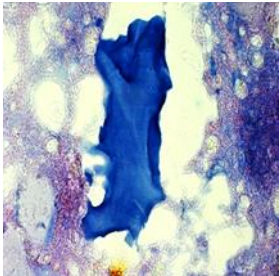
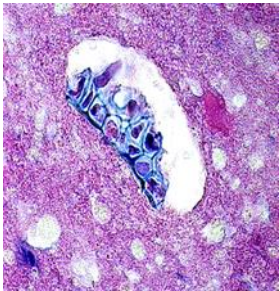
	окруженных целлюлозной оболочкой			не окрашиваемым просветом – целлюлозной оболочкой	
Текстурированн ый соевый белковый продукт	Включает в себя волокнистый компонент – тонкие рыхлые пучки волокон и узкие цилиндричес кие клетки, собранные в стопки	50 мкм - 5 мм	Присутству ют	Красные или сиреневые пучки волокон и не окрашиваемые клетки – фрагменты целлюлозной оболочкой боба сои	 Текстурированн ый соевый белковый продукт (Об. 10х)

Таблица 26. – Идентификационные признаки растительных компонентов углеводной природы

Компонент	Форма частицы	Размер	Тинктор иальные свойства (при окраске растворо м Люголя)	Тинкториал ьные свойства (при окраске гематоксил ином и эозином)	Микроструктура
Крахмал	а) свернутого жгута б) боба в) округлая с темной точкой в центре	Нативны й – от 3 до 5 мкм, гидратир ованный – до 100 мкм	Окраска в коричнев ый или черно- синий	Нет окраски	 Крахмал (Об.40х)
Мука	Округлые частицы, объединенн ые в крупные агрегаты	В соответст вии с помолом	Окраска в коричнев ый или черно- синий	Нет окраски	 Мука пшеничная (Об.40х)

Каррагинан получищенный	Частицы характеризуются неоднородностью и имеют неправильную форму	60-140 мкм	Окраска в бурый цвет	Лилово-сиреневые стеклоподобные конгломераты, включающие в себя выраженную неоднородность, сотоподобную структурированность	 Каррагинан получищенный (Об. 40х)
Каррагинан очищенный	Частицы имеют неправильную форму, более однородные	60-140 мкм	Окраска в бурый цвет	Лилово-сиреневые стеклоподобные структуры. Неоднородность выражается только в разной плотности окраски	 Каррагинан очищенный (Об. 40х)
Камеди гуара, тары и рождкового дерева	Отдельно лежащие растительные клетки или группы клеток. Каждая клетка окружена четкой не окрашиваемой целлюлозной оболочкой	Размер одной клетки от 5 до 15 мкм	Нет окраски	Округлое компактное эозинофильное вещество, окруженное широким не окрашиваемым светлым пространством	 Камедь (Об. 40х)

Структура реляционной базы данных представлена в таблице 27.

Таблица 27 – Структура реляционной базы данных

Сущность	Значения атрибутов
Название компонентов	- форма частиц $\{X_1\}$ - размер $\{X_2\}$ - тинкториальные свойства при окрасе гематоксилином и эозином $\{X_3\}$ - тинкториальные свойства при окрасе раствором Люголя $\{X_4\}$ - характерная микроструктура $\{X_4\}$

Структурирование процесса описания гистологического среза сводится к следующим шагам:

Шаг1. Описание формы частицы, например - Частицы округлые/форма бублика/гантели,

из них

Шаг2. Особенности частицы Имеют/не имеют отверстия внутри частиц,

из них

Шаг3. Размеры частицы - Размер 10-110 мкм,

из них

Шаг4. Особенности окраски - Окраска в розовый/красный цвет

Сформированы продукционные правила «*Если , то*» для идентификации *растительных компонентов белковой природы*.

Если Частицы округлые, с отверстиями внутри, имеют гомогенную стенку, форму бублика, гантели или цветка, *то* – **соевый изолированный белок**.

Если Частицы состоят из клеток цилиндрических (продольный срез) или округлых (поперечный срез) окруженных узким ровным не окрашиваемым просветом – целлюлозной оболочкой, *то* – **соевый концентрат**.

Если Обнаруживаем волокнистый компонент – тонкие рыхлые пучки волокон и не окрашиваемые общими гистологическими красителями узкие

цилиндрические клетки, собранные в стопки, *то* – **текстурированный соевый белковый продукт**.

Нарабатываемая база данных (набор обучающих пар) будет поделена на две неравные части. Большую часть выборки будем использовать для обучения (обучающая выборка), меньшую – для тестирования ИНС (тестовая выборка). На рисунке 33 представлена схема обучения ИНС.

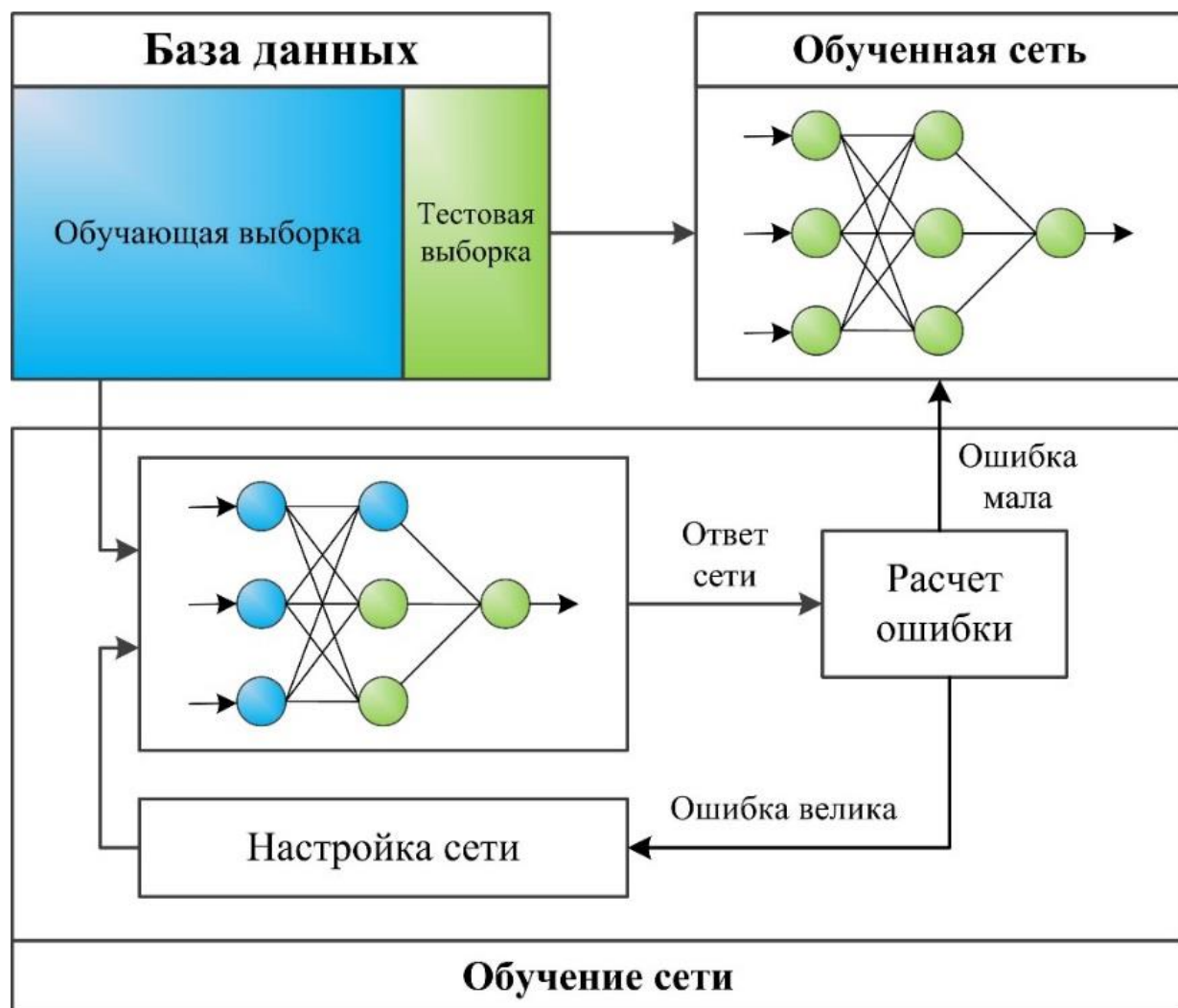


Рисунок 33. – Схема обучения искусственной нейронной сети

6.1. Применение технологии машинного обучения к методам контроля (на примере анализа гистологических срезов)

Идентификация состояния сложной мясной системы в реальном времени в условиях неопределенности и риска принятия решения, при недостаточной и нечеткой информации, требует интеллектуализации микроструктурного анализа на основе методов искусственного интеллекта с использованием нейросетевых технологий.

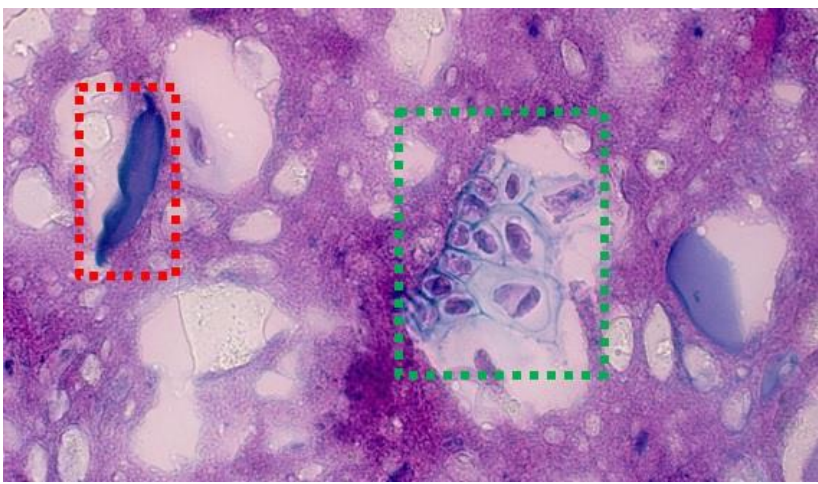
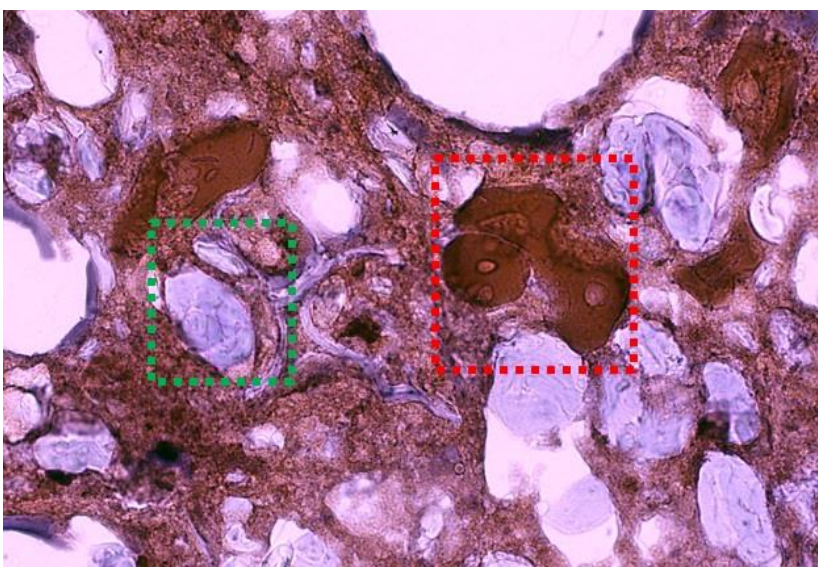
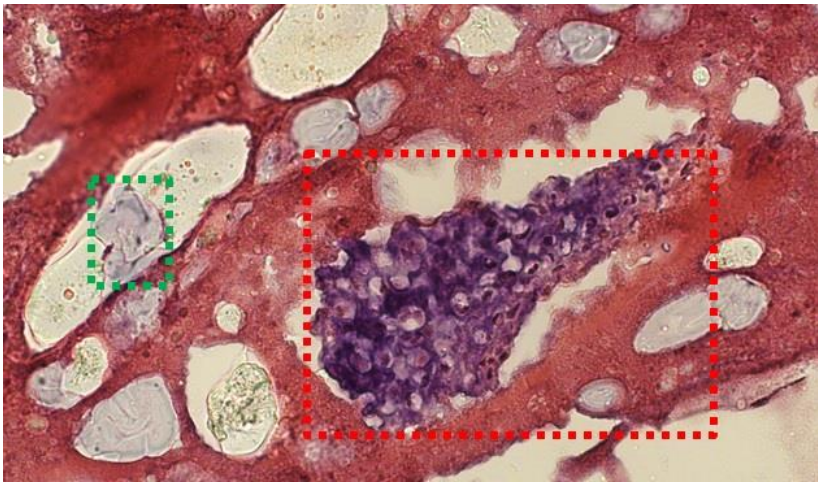
Для разработки экспертной системы «компьютерного» зрения на основе искусственной нейронной сети для оценки микроструктурных показателей мясного сырья необходимо:

1. разработать и наполнить информационную базу данных гистологических характеристик различного вида мясного сырья;
2. выбрать архитектуру нейронной сети, и алгоритмов ее обучения;
3. разработать систему, провести тестирование, апробацию и дообучение системы «компьютерного» зрения.

При этом интеллектуальная функция нейросетевого модуля заключается в уточнении и коррекции первоначально установленных характеристик связей между контролируемыми параметрами состояния и цели, а также распознавании и классификации аномальных ситуаций в системе с накоплением достоверных количественных и качественных оценок, по которым формируется ситуационный классификатор (разметка цифровых снимков гистологических срезов с подробным описанием) и база знаний системы.

Использование алгоритмов машинного обучения требует репрезентативной выборки – DataSet – для тренировки, обучения нейронной сети. Для получения DataSet гистологических срезов мясного сырья, совместно с гистологами были размечены цифровые снимки гистологических срезов. В качестве примера, в таблице 28 представлена разметка незаявленных компонентов в составе вареной колбасы. Детальная информация по сбору образцов, их разметки и классификации дана в работах [132, 50].

Таблица 28. – Разметка незаявленных компонентов на гистологических срезах

	Разметка красным цветом – каррагинан; Разметка зеленым цветом – растительная камедь
	Разметка красным цветом – соевый изолят; Разметка зеленым цветом – крахмал
	Разметка красным цветом – кость; Разметка зеленым цветом – крахмал

На основе проведенного системного анализа выделены: 1) X – входная переменная, изображение среза мясной продукции в формате jpeg; 2) Y – выходная переменная, результат определения наличия и вида фальсификата,

символьного типа из заданного множества; 3) U – векторная переменная, содержащая значения параметров, характеризующих информацию о виде мясной продукции, типам фальсификатов, требования к процедурам обработки изображения и принятия решений (рисунок 34).



Рисунок 34. – Схема процесса определения наличия фальсификата

В связи с этим составлены производственные правила идентификации неизвестного объекта на гистологическом препарате. Например, *Если частицы округлые, с отверстиями внутри, имеют гомогенную стенку, форму бублика, гантели или цветка, То – соевый изолированный белок.*

Обучаемая нейронная сеть способна накапливать знания на основе текущих данных и онтологии событий и адаптироваться к ситуации. В качестве обучающего множества используются гистологические препараты с «включениями» и без (контрольный образец), которые необходимо идентифицировать. На каждый вид «включения» представлено не менее 10 вариантов гистологических препаратов. Обучение сети начинается с предъявления очередного изображения из обучающего множества (DataSet) и соответствующей реакции нейронной сети. При этом сигналы проходят последовательно от слоя к слою и на последнем формируются реальные выходные сигналы. Сравнение их с желаемыми значениями позволяет изменять веса связей нейронов в направлении минимизации ошибки для данного образца, который будет использоваться на последующих шагах настройки. Таким образом, обучающее правило позволяет обеспечить настройку весов связей для каждого образца из обучающего множества.

Блок-схема обработки изображений для автоматизации определения

наличия фальсификации мяса представлена на рисунке 35. На вход подается изображение гистологического среза мяса X, которое далее подвергается обработке для удаления шумов, оптимизации палитры. Последовательное выполнение этапов позволяет получить обоснованное решение о наличии или отсутствии определенных видов фальсификатов мясной продукции.



Рисунок 35. – Блок-схема обработки изображений

Предложена разновидность архитектуры сверточной нейросети (CNN) с двумя слоями свертки (Convolutional, C-Layer) и пулинга (подвыборки) (Subsampling, S-Layer), которые чередуются друг за другом. Распознавание формируется на нейронах выходного слоя. Обучение CNN осуществлялось одним из способов машинного обучения – *обучение с учителем* (англ.

Supervised learning). В ходе, которого CNN принудительно обучается с помощью примеров «стимул-реакция» с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Данный алгоритм позволяет вычислять вектор частных производных сложной функции многих переменных при условии, что структура функции известна. В качестве такой функции рассматривается функция ошибки сети и учитывается тот факт, что структура функции ошибки сети полностью определяется архитектурой нейронной сети, которая считается известной. Как и в случае многослойного персептрона (частный случай персептрона Розенблатта), начальные веса задаются случайным образом. Процесс обучения состоит из последовательности обучающих циклов (эпох) и завершается, когда их число достигает заданной малой величины ε [99].

6.2. Агентные и нейросетевые технологии в ситуационном моделировании технологических систем

Информационные технологии ситуационного анализа и идентификации состояния сложных химико-технологических и биотехнологических систем, основанные на обработке больших объемов статистических данных, в случае динамически изменяющейся, неполной и недостаточной информации об управляемом объекте требуют разработки интеллектуальных модулей адаптации и самообучения распознаванию сложных ситуаций для компьютерной поддержки принятия адекватных решений в условиях неопределенности и риска.

Существующее направление ситуационного анализа данных, связанное с их структуризацией по функциональному или целевому принципу и определением связей между параметрами состояния и цели технологической системы, сводится [21] к формированию **когнитивной матрицы** $\|C_{ij}\|^n$ безразмерных характеристик связей между i -м и j -м параметрами, на основе которой путем ее умножения на диагональную матрицу вектора *нормированных отклонений* $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$ строится **ситуационная матричная модель системы**

(СММ) $C_{ij} \cdot \Delta x_j; i, j = \overline{1, n}$,

$$\left\| \begin{matrix} 1, & c_{12}, & \dots, & c_{1n} \\ c_{21}, & 1, & \dots, & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1}, & c_{n2}, & \dots, & 1 \end{matrix} \right\|_* \left\| \begin{matrix} \Delta x_1, \\ \dots & \Delta x_2, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \Delta x_n \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} \Delta x_1, & c_{12}\Delta x_2, & \dots, & c_{1n}\Delta x_n \\ c_{21}\Delta x_1, & \Delta x_2, & \dots, & c_{2n}\Delta x_n \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ c_{n1}\Delta x_1, & c_{n2}\Delta x_2, & \dots, & \Delta x_n \end{matrix} \right\|, \quad (67)$$

где $\Delta x_i = \frac{|x_i - x_i^0|}{\Delta x_i^0}; i = \overline{1, n}$ - нормированные отклонения параметров состояния от диапазона допустимых отклонений Δx_i^0 .

В результате элементы главной диагонали ситуационной матрицы отображают текущие нормированные отклонения Δx_i контролируемых факторов от заданных значений x_i^0 , а недиагональные $c_{ij} \cdot \Delta x_j, j = \overline{1, n} (i \neq j)$ – вклады отклонений $\Delta x_j, j = \overline{1, n}$ в отклонение $\Delta x_i, i = \overline{1, n}$ в соответствии с системой уравнений

$$\Delta x_i = \sum_j^N c_{ij} \cdot \Delta x_j, i = \overline{1, n}, i \neq j; \quad (68)$$

с упорядочиванием по строкам всех априорно известных причин отклонения Δx_i , а по столбцам – возможных следственных влияний отклонения Δx_i на другие параметры.

В общем случае ситуационная матрица $\|c_{ij} \cdot \Delta x_j\|^n$ с множеством функциональных элементов $\{x_1 \dots x_n\}$ и связей между ними $\|C_{ij}\|^n$ описывает структурно-сложную ситуацию причинно-следственного взаимодействия элементов в текущем состоянии системы, объединяя **априорную базу знаний** о структуре связей с текущей информацией Δx .

Формализованный алгоритм **идентификации аномальной ситуации** в технологической системе заключается в следующем.

В строке максимального диагонального элемента, соответствующего максимальному отклонению от нормы – Δx_i^0 в наблюдаемом множестве

параметров состояния, отыскивается максимальный недиагональный элемент, соответствующий главной причине, вызвавшей это отклонение. Далее по найденному столбцу следует переход к новому элементу главной диагонали, после чего в новой строке находится следующая главная причина аномалии. Поиск продолжается до нахождения диагонального отклонения, в строке которого все недиагональные элементы будут равны нулю, что означает отыскание первоначальной причины возникновения аномальной ситуации.

Регистрация каждой текущей ситуации в реальном времени дополняет исходную базу данных с последующим пересчетом коэффициентов регрессии.

Однако СММ в режиме пассивного наблюдения и накопления не всегда обеспечивает необходимую оперативность и точность принятия решения в задачах идентификации и прогнозирования из-за недостаточности статистики и неадекватности регрессионных оценок связей. Используемые методы пассивного накопления данных и активного эксперимента в реальном времени действующей технологической системы практически не реализуемы, т.к. требуют длительного периода наблюдения или активного эксперимента с достаточным числом повторений и проверкой воспроизводимости.

Поэтому развитие **информационной технологии** идентификации и прогнозирования состояния сложной технологической системы в реальном времени связано с рациональным сочетанием прикладной математической статистики с анализом нечетких данных и самообучения на основе методов искусственного интеллекта, агентных и нейросетевых технологий.

Самообучающиеся **интеллектуальные агенты (ИА)**, способны накапливать знания на основе текущих данных и онтологии событий в процессе взаимодействия с другими агентами и окружающей средой, адаптироваться к ситуации, выбирать стратегию достижения выбранной цели и оценивать степень ее достижения.

Общий алгоритм поведения интеллектуального агента [20] включает идентификацию ситуации, оценку собственного состояния и коррекцию цели с

последующей рефлексивной реакцией или осмысленным (интеллектуальным) принятием решения в направлении достижения цели. Критерием интеллектуальности агента является степень полноты и глубины априорных знаний, стратегий обучения и алгоритмов принятия решения в условиях неопределенности, риска и конфликта.

Параметрическое описание агента включает множество целей и базу знаний в определенной области, вектор характеристик его состояния; банк моделей и стратегий поведения, описание внешних связей с агентами и средой.

Интеллектуальная функция нейросетевого модуля или самообучающегося интеллектуального агента заключается в уточнении и коррекции первоначально установленных характеристик связей между контролируемыми параметрами состояния и цели, распознавании и классификации аномальных ситуаций в системе с накоплением достоверных количественных и качественных оценок, по которым формируется **ситуационный классификатор** и база знаний системы [10].

Нейросетевая технология самообучения и пополнения базы знаний в ситуационном моделировании состояния системы с автоматической коррекцией характеристик связей и весовых коэффициентов когнитивной модели технологического процесса дает возможность принимать более адекватные оптимальные решения в реальном времени в условиях неопределённости ситуации и окружающей среды.

Алгоритм поведения ИА при малом размере обучающей выборки с декларируемым множеством контролируемых параметров описывает самообучение распознаванию аномальных ситуаций в технологической системе с их классификацией на основе предъявления в реальном времени текущих состояний системы по принадлежности к областям, соответствующим различным категориям принятия решения.

Задача обучения агента распознаванию образов заключается в построении поверхности, разделяющей многомерное пространство на области,

соответствующие определенным классам. Построение проводится на основе предъявления некоторого числа объектов (образов), принадлежащих этим классам. Алгебраически обучение связано с построением по показам образов некоторой разделяющей функции $y = f(X)$, где X – n -мерный вектор, описывающий образ (ситуацию), а y – величина, определяющая класс, к которому принадлежит образ (рисунок 36).

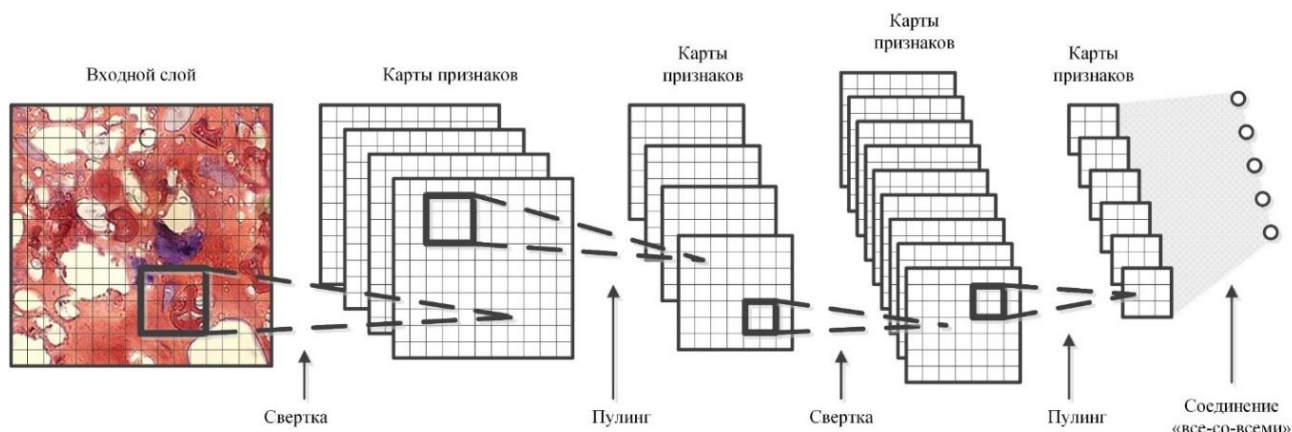


Рисунок 36. – Нейросетевая структура обучения интеллектуального агента

В восприятии агента выходной сигнал i -го нейрона скрытого слоя в общем виде имеет вид:

$$y_i^{(2)} = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ij}^{(1)} x_j\right); i = \overline{1, k} \quad (69)$$

где $w_{ij}^{(1)}$ – вес связи j -го нейрона первого слоя с входом i -го нейрона скрытого слоя

Тогда для выходного слоя, где формируется образ ситуации, справедливо следующее выражение:

$$Y = f\left(\sum_{i=1}^k w_i^{(2)} y_i\right) \quad (70)$$

или

$$Y = f\left(\sum_{i=1}^k w_i^{(2)} f\left(\sum_{j=1}^{n_i} w_{ij}^{(1)} x_j\right)\right) \quad (71)$$

При сигмоидальной функции активации нейронов сигнал на выходе i -го нейрона скрытого слоя будет иметь вид:

$$y_i = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{j=1}^n w_{ij}^{(1)} x_j}} \quad (72)$$

а сигнал на выходе сети будет выражен формулой

$$Y = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^k w_i^{(2)} \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^n w_j^{(1)} x_j)} y_i)} \quad (73)$$

В качестве **алгоритма обучения** агента выбирается градиентный метод обратного распространения ошибки, суть которого заключается в подборе таких значений весов $w_{1j}^{(1)}$ и $w_{ij}^{(2)}$ для всех элементов слоев сети, чтобы при заданном входном векторе параметров $\{x_1, \dots, x_n\}$ получить на выходе, совпадающие с тестовым вектором обучающей пары с приемлемой точностью.

При этом минимизируется сумма квадратов разностей между фактическими и ожидаемыми значениями выходных сигналов в виде:

$$Q = \sum_{l=1}^p (f_l(\sum_{i=1}^k w_i^{(2)} y_i) - d_l)^2 \quad (74)$$

где p – количество обучающих выборок;

d_l – ожидаемый (тестовый) вектор на выходе при заданном векторе входных параметров в l -м представлении (l -м шаге обучения).

Алгоритм SAG (Stochastic Average Gradient)

Исходные данные: выборка X^l , темп обучения h , темп забывания λ

Результат: вектор весов w

1. Инициализировать веса $w_j, j = \overline{1, n}$

-
2. Инициализировать градиенты $G_i = \nabla F_i(w_i), i = \overline{1, l}$
 3. Инициализировать оценку функционалу $Q = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l F_i(w)$
 4. **повторять**
 5. выбрать объект x_i из X^l случайным образом
 6. вычислить потерю $\delta_i = F_i(w)$
 7. вычислить градиент $G_i = \nabla F_i(w)$
 8. сделать градиентный шаг $w = w - h \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l G_i$
 9. оценить функционал $\bar{Q} = \lambda \delta_i + (1 - \lambda) \bar{Q}$
 10. **пока** значение $\bar{Q}$ и/или веса w не сойдутся
-

Фрагмент реализации программного кода представлен на рисунке 37.

```
for i in range(max_iters):  
  
    dW = 0 # Resetting the accumulators  
  
    dB = 0  
  
    for j in range(m):  
  
        # 1. Iterate over all examples,  
  
        # 2. Compute gradients of the weights and biases in w_grad and b_grad,  
  
        # 3. Update dW by adding w_grad and dB by adding b_grad,  
  
    W = W - alpha * (dW / m) # Update the weights  
  
    B = B - alpha * (dB / m) # Update the bias  
  
return W, B # Return the updated weights and bias.
```

Рисунок 37. – Листинг кода на Python

Полный алгоритм нейросетевого обучения интеллектуального агента состоит из следующих этапов:

1. Агент в режиме наблюдения воспринимает вектор сигналов текущей ситуации в одном из возможных образов и рассчитывает значения i -го выхода n -го слоя по формуле:

$$y_i^{(n)} = \sum_{j=1}^{m_i} y_j^{(n-1)} \cdot w_{ij}^{(n)} \quad (75)$$

где $w_{ij}^{(n)}$ – вес связи i -го нейрона n -го слоя с j -м входом;

m_i – число нейронов $n-1$ -го слоя, связанных с i -м нейроном n -го слоя;

с сигмоидальной функцией F активации нейрона (72, 73) n -го слоя как $y_i^{(n)} = F(y_i^{(n)})$.

2. Вычисление ошибки $\delta^{(N)}$ в оценке образа текущей k -й ситуации Y в выходном, N -м слое своей НС по формуле:

$$\delta_l^{(N)} = (Y - d_k) \frac{dY}{dy_i^{(n-1)}} \quad (76)$$

с коррекцией весов его входов $w^{(N-1)}$ как:

$$w_i^{(N-1)} = w_i^{(N-1)} + \Delta w_i^{(N-1)} \quad (77)$$

где $\Delta w_{1i}^{(N-1)} = -\eta \delta_l^{(2)} y_i$;

η – коэффициент скорости обучения, $0 < \eta < 1$.

3. Вычисление ошибки $\delta^{(n)}$ и $\Delta w^{(n)}$ для скрытых слоев $n = \overline{N-1, \dots, 1}$ с коррекцией весов $w_{ij}^{(n)}$ их входов по формулам (76), (77).

4. Если ошибка существенна, следует возврат к первому шагу, в противном случае, агент может считаться обученным.

Таким образом, обучение интеллектуального агента, основанное на работе НС позволяет обеспечить необходимую точность в оценке влияния

каждого параметра на состояние технологической системы и принятие решения в реальном времени.

Обученная сеть проверяется на качество обучения перед началом работы, с проверкой допустимых ошибок при вводе в сеть выборки с ранее известными значениями выходных параметров, но отличными от обучающей выборки.

Интеллектуальное обучение агентов на основе работы ИНС позволяет обеспечить необходимую точность в оценке влияния каждого параметра на состояние технологической системы и принятие решений в режиме реального времени.

График обучения сверточной нейронной сети (CNN) с двумя слоями свертки (Convolutional, C-Layer) и пулинга (подвыборки) (Subsampling, S-Layer), которые чередуются друг за другом, представлен на рисунке 38. Использовалась функция активации ReLU. В качестве обучающего множества использовались гистологические препараты с «включениями» и без (контрольный образец), которые необходимо было идентифицировать. На каждый вид «включения» представлено не менее 10 вариантов гистологических препаратов.

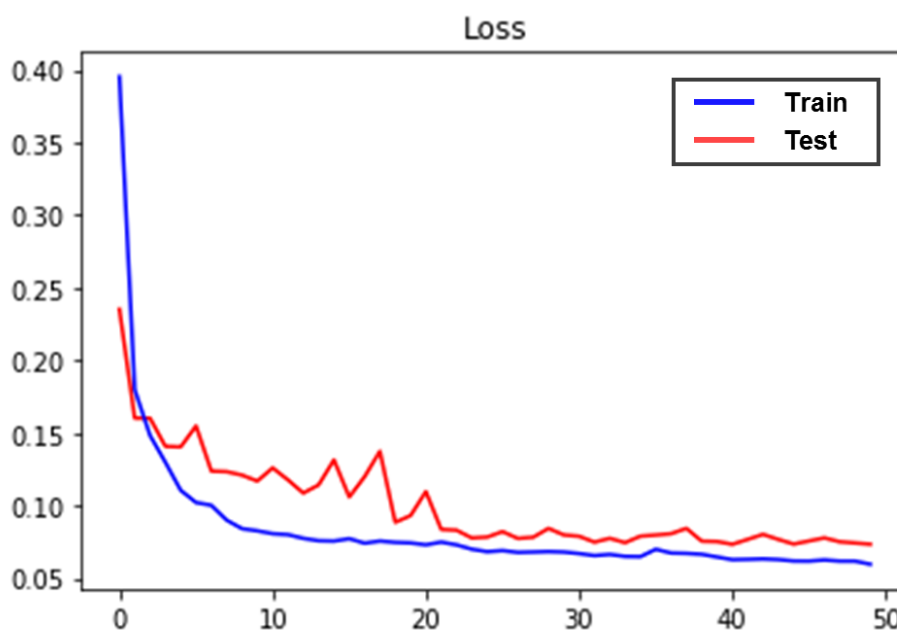


Рисунок 38. – График обучения сверточной нейронной сети (изменение потерь тестовой и обучающейся выборки по эпохам)

На каждом этапе итерации мы видим уменьшение величины потерь (Epoch). Это говорит о том, что модель оптимизируется (рисунок 39).

Epoch 1/3 – loss: 10.05

Epoch 2/3 – loss: 0.91

Epoch 3/3 – loss: 0.02

Рисунок 39. – Уменьшение величины потерь (ошибки)

Работа алгоритма обучения для настройки нейронной сети показана на двух примерах (таблицы 29, 30). На вход подается гистологический срез в цифровом формате, необходимо было определить наличие фальсификата.

Таблица 29 – Сигналы ИНС при подаче тестовой ситуации на ее входы

Номер итерации	Вектор состояния			Вектор выходов			$\ \vec{y}^{(q+1)} - \vec{y}^{(q)}\ $
	$s_{21}^{(q)}$	$s_{22}^{(q)}$	$s_{23}^{(q)}$	$y_{21}^{(q)}$	$y_{22}^{(q)}$	$y_{23}^{(q)}$	
1	6,00	2,00	7,00	4,50	2,00	4,50	-
2	2,55	-0,70	2,55	2,55	0,00	2,55	11,61
3	1,79	-1,53	1,79	1,79	0,00	1,79	1,17
4	1,25	-1,07	1,25	1,25	0,00	1,25	0,57
5	0,87	-0,75	0,87	0,87	0,00	0,87	0,28
6	0,61	-0,52	0,61	0,61	0,00	0,61	0,14
7	0,43	-0,37	0,43	0,43	0,00	0,43	0,07

Как видно из таблицы 29, критерий остановки цикла возврата сигнала по обратным связям выполнен после 7-й итерации (желтый цвет в таблице, при значении 0,07). Кроме этого, значения в таблице наглядно показывают, что ИНС не может отдать предпочтение 1-м и 3-м классам уже на 2-й итерации (зеленый цвет в таблице, значения равнозначные). Таким образом в гистологическом срезе обнаружен фальсификат, но нейронная сеть не смогла определить вид фальсификата.

Таблица 30 – Сигналы ИНС при подаче тестовой ситуации на ее входы

Номер итерации	Вектор состояния			Вектор выходов			$\ \vec{y}^{(q+1)} - \vec{y}^{(q)}\ $
	$s_{21}^{(q)}$	$s_{22}^{(q)}$	$s_{23}^{(q)}$	$y_{21}^{(q)}$	$y_{22}^{(q)}$	$y_{23}^{(q)}$	
1	8,00	2,00	3,00	4,50	2,00	3,00	-
2	3,00	-0,25	1,05	3,00	0,00	1,05	10,05
3	2,69	-1,22	0,15	2,69	0,00	0,15	0,91
4	2,64	-0,85	-0,66	2,64	0,00	0,00	0,02

В данном случае критерий остановки цикла возврата сигнала по обратным связям выполнен после 4-й итерации (желтый цвет в таблице, при значении 0,02). Положительное выходное значение 1-го нейрона указывает на то, что входной образ следует отнести к 1-му классу (зеленый цвет в таблице). В данном случае нейронная сеть однозначно определила вид фальсификата.

В ходе работы были выявлены узкие места, связанные с качеством гистологического среза, а также с цифровым форматом изображения. Установлено, что для получения более четкого изображения необходимо делать снимки в инфракрасном диапазоне излучения.

6.3. Разработка метода оптимизации аппроксимации полихромного изображения

Для уменьшения объема памяти, занимаемого изображением и упрощения его обработки целесообразно уменьшить количество палитру изображения.

Изображение гистологического препарата, поступающего для обработки, имеет формат JPEG. Используемая цветовая модель – RGB. Цвет каждого пикселя изображения X_{ij} определяется кортежем целых чисел $[R_{ij}, G_{ij}, B_{ij}]$ в диапазоне $[0...255]$. Эти числа являются определяющими.

Для оценки качества использована операция вычисления суммарного (абсолютного) модуля отклонения:

$$\Delta Q = \sum_{i=0}^W \sum_{j=0}^H |R_{ij}^X - R_{ij}^P| + |G_{ij}^X - G_{ij}^P| + |B_{ij}^X - B_{ij}^P| \quad (78)$$

где $R_{ij}^X, G_{ij}^X, B_{ij}^X$ – определяющие числа пикселя исходного изображения;

$R_{ij}^P, G_{ij}^P, B_{ij}^P$ – определяющие числа одного из значений вектора P.

Критерий содержит функции взятия модуля, поэтому нельзя гарантировать его дифференцируемость в смысле Фреше, а также непрерывность. Следовательно, использовать градиентные методы поиска экстремума невозможно. Применение методов полного перебора, процедур минимизации нулевого уровня не позволяют гарантировать нахождение оптимального значения, так как задача относится к числу NP-полных, т.е. с экспоненциально возрастающие уровнем сложности. Поэтому целесообразно применение эвристических методов, к которым, в частности, относятся генетические алгоритмы.

6.3.1. Разработка генетического алгоритма оптимизации аппроксимации полихромного изображения

Алгоритм решает оптимизационную задачу поиска и позволяет сформировать оптимальную особь (палитру изображения). Каждая особь состоит из двух хромосом. При этом *Alpha-хромосома* соответствует начальному приближению цветов фальсификата, установленному гистологами. *Beta-хромосома* соответствует цветам, полученным в ходе алгоритма без учета начального приближения. Каждая хромосома, состоит из генов, которые определяют генотип особи. 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.

Основные этапы генетического алгоритма.

1. Первым этапом алгоритма является **формирование начальной популяции**, содержащей N_I особей. Для формирования alpha-хромосомы N_{α} раз случайным образом выбирается цвет начального приближения фальсификата, т.е. один из цветов, который указан гистологом, как предположительный цвет фальсификации.

Для формирования beta-хромосомы могут использоваться два подхода. В первом случае N_{β} раз случайным образом выбирается элемент определяющей матрицы, т.е. цвет соответствующего пикселя, и его значение присваивается одному из генов beta-хромосомы. Во втором случае для каждого гена beta-хромосомы выбирается случайный цвет.

2. На втором этапе осуществляется **селекция** для сохранения генотипа лучших особей в каждом из новообразованных поколений и на каждой итерации N_S оптимальных особей переносят в следующее поколение. Для этого введен следующий оператор селекции:

$$O_s(I) = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w (P_{ij} - C(P_{ij})), \quad C(P_{ij}) = \min(P_{ij} - C_k) \quad (79)$$

где I – особь;

h – высота определяющей матрицы;

w – ширина определяющей матрицы;

P_{ij} – элемент определяющей матрицы;

$C(P_{ij})$ – ближайший к P_{ij} цвет из палитры;

C_k – цвет палитры.

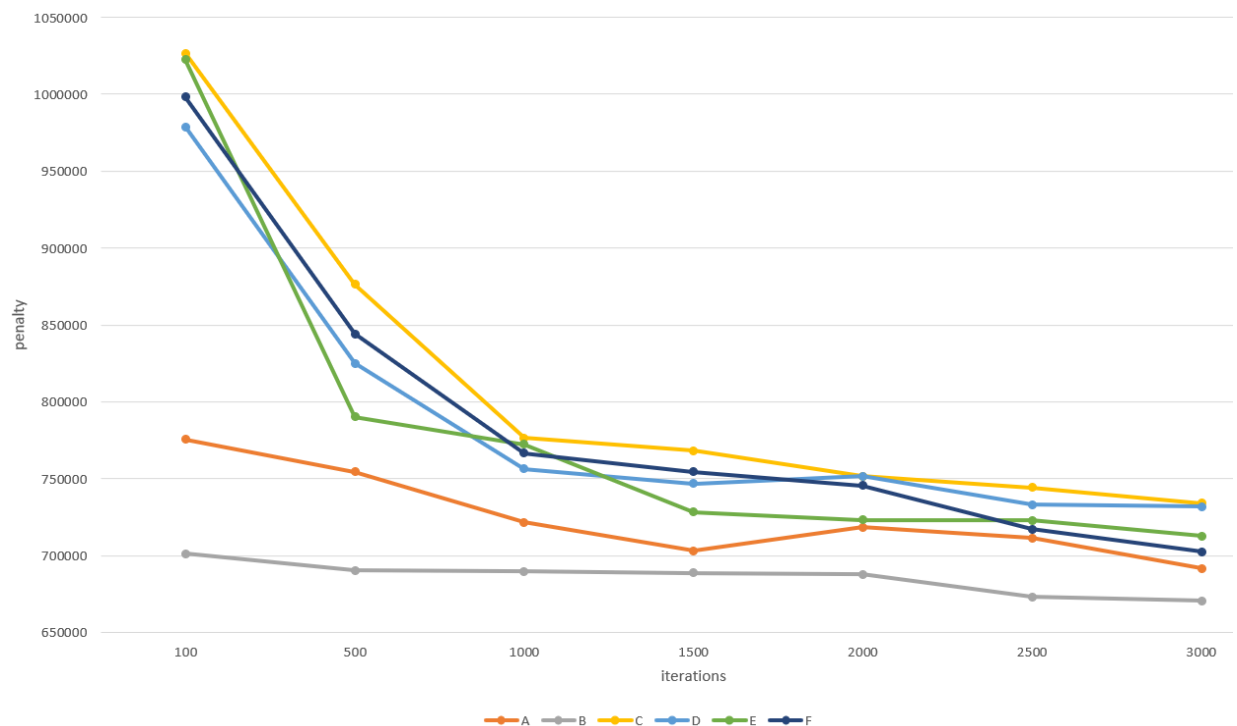
Таким образом особь I_i «оптимальнее» особи I_k , если $O_s(I_i) < O_s(I_k)$. Оставшееся место в новом поколении равное $N_I - N_S$ заполняется особями, полученными в результате скрещивания и мутации.

3. Результатом операции **скрещивания** двух особей $O_c(I_1, I_2)$ является их потомок, содержащий признаки обоих родителей. Процесс скрещивания происходит следующим образом: у первого родителя I_1 выбираются случайные участки *alpha-хромосомы* и *beta-хромосомы*. Этот участок переходит в потомка, а оставшееся место заполняется соответствующими генами второго родителя I_2 .

4. Для сходимости алгоритма и предотвращение преждевременной стабилизации предлагается ввести оператор **мутации** $O_M(I)$. Данный оператор заменяет в *alpha-хромосоме* N_{Malpha} значений генов на другие из начального приближения фальсификации и в *beta-хромосоме* N_{Mbeta} значений генов на другой случайно выбранный цвет.

5. **Условием остановки** алгоритма является прохождение заданного количества итераций N_{imax} . Результатом работы алгоритма является оптимальная особь, полученная в течении всех итерация алгоритма.

В результате работы алгоритма для каждого формирования начальной популяции построен график зависимости целевой функции от максимально допустимого времени работы алгоритма (количества итераций). Графики представлены на рисунке 40. Выполнено по 10 экспериментов для каждого количества итераций и вычислено среднее значение.



- A. Alpha-хромосома = 1
- B. В Beta-хромосоме используются только цвета изображения
- C. Только цвета изображения
- D. Значения генов выбираются случайно
- E. $R=G=B=128$
- F. $R=G=B=0$
 $R=G=B=255$

Рисунок 40. – Зависимость значения целевой функции от количества итераций

По полученным результатам можно сделать следующие выводы: 1) после первой тысячи итераций скорость схождения алгоритма существенно падает, что делает нецелесообразным дальнейшую работу алгоритма; 2) лучшее приближение получено при инициализации начальной популяции цветами, присутствующими на изображении (вариант B), однако скорость сходимости крайне мала, что объясняется небольшой палитрой исходного изображения, т.е. начальная популяция всегда состоит из ограниченного количества цветов. Из-за мутации происходят изменения в генах особи, однако значение целевой функции заданной особи априори больше исходных, т.к. цвета исходной палитры имеют большее приближение.

На рисунках 41, 42 визуально продемонстрированы результаты алгоритма с указанными выше параметрами (количество $N_i = 3000$)

Поскольку график зависимости значения целевой функции от количества итераций показал, что при выборе формирования исходной популяции варианта “В” параметр штрафа наименьший, выбирается данная инициализация. Также по результатам исследования было выбрано количество итераций $N_i = 1000$. Четко видны округлые частицы розового цвета с отверстием внутри, красные и сиреневые пучки волокон и округлые частицы, объединенные в крупный агрегат.

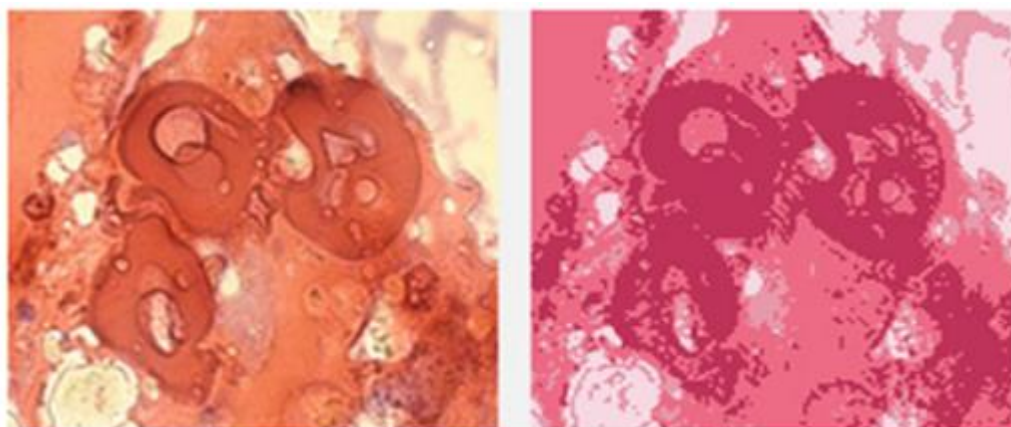


Рисунок 41. – Формирование исходной популяции вариант “С”
(штраф = 732030)

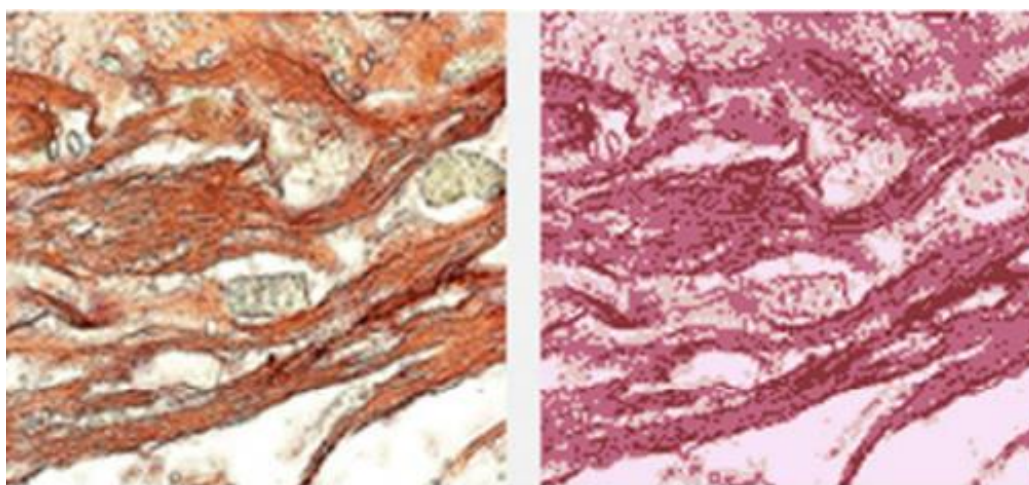


Рисунок 42 – Формирование исходной популяции вариант “F”
(штраф = 830288).

Штраф - функция пригодности для оценки качества аппроксимации полихромного изображения

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

Заключение по главе 6

Использование современных информационных подходов к обработке и интерпретации результатов гистологического анализа на основе нейросетевых технологий (1) повысит объективность контроля качества пищевой продукции за счет автоматизация микроскопии (в разделе анализа среза) и обработки полученных результатов; (2) позволит снизить риск субъективизации при анализе данных; (3) упростит совмещения данных, полученных разными исследователями и разными гистологическими методами; (4) станет быстрым и надежным арбитражным методом, что существенно облегчит процесс принятия решений в спорных ситуациях. Все это, в конечном итоге, будет способствовать снижению доли фальсифицированной пищевой продукции на российском рынке.

Глава 7 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ БИОУСВОЯЕМОСТИ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ

Одной из главных предпосылок сохранения здоровья человека является его оптимальный рацион питания, содержащий необходимые для организма аминокислоты и жирные кислоты, витамины и различные микроэлементы.

Решение вопроса адекватного питания, соответствующего потребностям и возможностям организма человека и сбалансированного по всем показателям пищевой и биологической ценности, связано с созданием и обработкой больших баз данных и знаний, отражающих выбор индивидуальных рационов и режимов питания с учетом возраста, климатических условий, физического состояния человека и особенностей потребления пищи. При этом для оптимизации адекватного питания необходимо учитывать функциональное состояние пищеварительной системы желудочно-кишечного тракта человека, определяющее требования и ограничения по параметрам химического состава и биологической ценности рациона питания на основе структурно-параметрического моделирования, структурной и многокритериальной оптимизации и объективной оценки адекватности предлагаемых вариантов.

Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) человека представляет собой живую биологическую систему, обеспечивающую расщепление пищи на биохимические элементы, используемые организмом для получения энергии, роста и восстановления клеток. Биохимические изменения, происходящие при пищеварении, осуществляются под действием гидролитических ферментов пищеварительного тракта, которые катализируют гидролиз белков до аминокислот; крахмала – до моносахаридов, жиров – до глицерола и жирных кислот.

Процесс пищеварения осуществляется функциональной деятельностью слюнных желез, поджелудочной железы, печени, желчного пузыря и других

активных органов и заключается в ферментативной и микробиологической обработке пищевых веществ (белков, жиров, углеводов) с всасыванием продуктов гидролиза в кровь и лимфу.

Описание живой системы связано с множеством взаимодействующих факторов и связей, исследование которых требует использования математических методов системного анализа и имитационного моделирования систем. В связи с этим задача заключалась в формализации и структурно-параметрическом описании желудочно-кишечного тракта человека [53, 18] для построения агентно-ориентированной имитационной модели [71] пищеварительной системы, позволяющей идентифицировать состояние человека и определить содержание необходимых биохимических элементов его рациона питания.

Для оптимизации рационов и режимов адекватного питания человека предлагается структурно-параметрическое описание и агентно-ориентированная модель его пищеварительной системы, 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.

Для реализации модели использовалась универсальная имитационная система – Simplex3, содержащая [20] среду экспериментирования с функциями полного изучения модели, встроенный объектно-ориентированный язык описания моделей Simplex3-MDL (Model Description Language) и языка описания имитационного эксперимента EDL (Experiment Description Language).

7.1. Параметрическое описание и математическое моделирование пищеварительной системы

Биохимический состав поступающих с пищей веществ: *в желудке человека*, X_1 – X_5 ; *тонком кишечнике*, X_6 – X_{16} ; *в крови, лимфе и депо*⁴ X_{17} – X_{20} систематизирован в структурно-параметрической модели (СПМ) пищеварительной системы, отражающей в матричной форме функциональные связи показателей состояния между собой и факторами X_{21} – X_{27} биохимического воздействия среды Y (рисунок 43).

			x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	x30	x31	x32
Желудок	Белки	x1	•																				•									•		
	Жиры (триглицериды)	x2		•																			•									•		
	Углеводы (полисахариды)	x3			•																		•										•	
	Денатурированные белки	x4	•			•																	•										•	
	Пептиды	x5				•		•															•										•	
Тонкий кишечник	Денатурированные белки	x6				•		•															•			•		•					•	
	Пептиды	x7				•		•		•													•			•		•					•	
	Дипептиды и аминокислоты	x8						•		•													•			•		•					•	
	Жиры (триглицериды)	x9		•					•		•												•			•		•					•	
	Эмульгированные жиры	x10							•		•		•										•			•		•					•	
	Моноглицериды	x11								•		•		•									•			•		•					•	
	Жирные кислоты	x12							•		•		•		•								•			•		•					•	
	Углеводы (полисахариды)	x13		•								•		•		•							•			•		•					•	
	Олигосахариды	x14										•		•		•							•			•		•					•	
	Дисахариды	x15										•		•		•		•					•			•		•					•	
	Глюкоза	x16										•		•		•		•		•			•			•		•					•	
Лимфа, депо, кровь	Аминокислоты	x17							•											•			•									•		
	Жирные кислоты	x18								•													•										•	
	Триглицериды	x19									•												•										•	
	Глюкоза	x20										•											•										•	
Биохимическая среда ЖКТ	Соляная кислота, y1	x21																					•										•	
	Пепсин (огены), y2	x22																					•										•	
	Бикарбонаты поджелудочного сока, y3	x23																					•										•	
	Протеолитические ферменты п.с., y4	x24																					•										•	
	Липаза, y5	x25																					•										•	
	Трипсиноген, y6	x26																					•										•	
	Альфа-амилаза, y7	x27																					•										•	
	Олигосахаридаза, y8	x28																					•										•	
	Дисахаридаза, y9	x29																					•										•	
Параметры рациона	Белок, w1	x30																															•	
	Жир, w2	x31																															•	
	Углеводы, w3	x32																															•	

Рисунок 43. – Фрагмент СПМ желудочно-кишечного тракта человека

⁴ Депо крови – печень, селезенка, сосуды кожи и т.д.

Кроме указанных на рисунке 43, к факторам, влияющим на состояние перевариваемой пищи X_1 - X_{20} , относятся [120]: бикарбонаты Бруннеровых желез Y_8 и двенадцати-перстной кишки Y_9 , ферменты Y_{10} - Y_{16} , участвующие в субстрат-ферментативных реакциях расщепления, Y_{17} электролиты в тонком кишечнике, и Y_{18} – Ca^{++} .

В полном варианте СПМ адекватного питания человека вдоль главной диагонали размещаются переменные состояния $X_1 \div X_{20}$ трех основных блоков пищеварительной системы, блок компонентов Y_1 - Y_{16} химического состава биохимической среды ЖКТ и блок физико-химических показателей рациона питания.

Недиагональные клетки заполняются характеристиками связи между i -м и j -м параметрами и в случае их независимости остаются пустыми.

С переходом к отклонениям параметров состояния ЖКТ от установленных норм на базе СПМ строится **ситуационная модель аномального состояния человека**, определяющая требования к его рациону адекватного питания. Тогда отклонения параметров, расположенных вдоль главной диагонали СПМ, в конечных разностях представляются суммой составляющих в системе алгебраических уравнений:

$$\Delta X_i = \sum_j^N w_{ij} \cdot f_{ij} \cdot \Delta X_j; \quad i = 1, 20 \quad (80)$$

где f_{ij} – функция влияния j -го фактора воздействия (ферментов, механизмов перемещения веществ) на i -й параметр состояния;

w_{ij} – знаковая функция.

Процесс пищеварения заключается в гидролизе пищевых веществ (субстратов) под действием ферментов по ходу желудочно-кишечного тракта и может быть описан системой субстрат-ферментативных реакций Михаэлиса-Ментона

$$\begin{cases} \frac{d[S]}{dt} = -k_1[E][S] + k_{-1}([E_0] - [E]), \\ \frac{d[E]}{dt} = -k_1[E][S] + (k_{-1} + k_2)([E_0] - [E]), \\ \frac{d[P]}{dt} = k_2([E_0] - [E]); \end{cases} \quad (81)$$

где k_1, k_{-1}, k_2 – коэффициенты скорости субстрат-ферментативной реакции;

$[S], [E], [P]$ – соответственно, количество субстрата, фермента и продукта в молях;

$[E_0]$ – начальное содержание фермента.

Система дифференциальных уравнений (81) описывает расщепление основных биохимических элементов пищи (белки, жиры и углеводы) на более простые ингредиенты, перемещающиеся в тонкий кишечник и всасывающиеся в кровь, лимфу и депо.

В процессе реакций комплекс SE с субстратом S и ферментом E распадается с образованием продукта реакции P и свободного фермента E .

В соответствии с уравнением (80) при отклонении от нормы показателей среды ЖКТ или биохимического анализа крови можно определить отклонения параметров состояния пищеварительной системы и рациона питания человека. Так, например, в соответствии с СПМ (рисунок 43), динамику денатурации белка X_1 в желудке под действием соляной кислоты X_{21} и далее образования пептидов X_5 в результате реакции денатурированного белка X_4 с пепсином X_{22} можно описать с учетом знака как:

$$\Delta X_1 = -f_{1,21} \Delta X_{21} \quad (82)$$

$$\Delta X_4 = \Delta X_1 - f_{4,22} \cdot \Delta X_{22}$$

Воздействие пепсина на пептиды уменьшает их концентрацию в желудке:

$$\Delta X_5 = \Delta X_4 - f_{5,22} \Delta X_{22} \quad (83)$$

При поступлении в **тонкий кишечник** денатурированные белки X_6 и пептиды X_7 подвергаются гидролизу протеолитическими ферментами поджелудочного сока X_{24} и трипсиногеном X_{26} до аминокислот.

Тогда уравнения изменения концентрации денатурированного белка и пептидов в тонком кишечнике будут иметь вид:

$$\Delta X_6 = -f_{6,24}\Delta X_{24} - f_{6,26}\Delta X_{26} \quad (84)$$

$$\Delta X_7 = \Delta X_5 + \Delta X_6 - f_{7,24}\Delta X_{24} \quad (85)$$

где ΔX_{24} , ΔX_{26} – изменение концентрации протеолитических ферментов поджелудочного сока и трипсиногена в тонкой кишке.

В результате гидролиза пептидов под действием бикарбонатов поджелудочного сока, липазы, трипсиногена и альфа-амилазы изменяется содержание дипептидов и аминокислот ΔX_8 :

$$\Delta X_8 = \Delta X_7 + f_{8,23}\Delta X_{23} + f_{8,25}\Delta X_{25} + f_{8,26}\Delta X_{26} + f_{8,27}\Delta X_{27} \quad (86)$$

Накопленные в тонком кишечнике аминокислоты всасываются **в кровь, лимфу и депо**:

$$\Delta X_{17} = f_{17,21}\Delta X_{21} - f_{17,22}\Delta X_{22} \quad (87)$$

Характеристики f_{ij} влияния j -го фактора на i -й в (82)-(87) определяются [18] экспертным путем по 10-ти балльной шкале с учетом активности ферментов и транспортных механизмов, а также кинетики химических реакций и переноса вещества.

Аналогично составляются математические модели динамики расщепления жиров и углеводов по блокам СПМ желудочно-кишечного тракта.

В процессе пищеварения на элементы желудочно-кишечного тракта, лимфу, кровь и депо поступают сигналы из управляющей подсистемы [71], включающей в себя парасимпатические и симпатические нервы, а также

клеточные структуры, продуцирующие гормоны, приводящие к изменениям интенсивности процессов секреции и транспорта.

Отклонение содержания поступающих в кровь, лимфу и депо ингредиентов биологической ценности $X_{17} - X_{20}$ (рисунок 43) от установленных норм являются сигналом для коррекции состава и структуры исходного рациона питания по содержанию в нем элементов пищевой ценности $X_{30} - X_{32}$ и других элементов химсостава.

7.2. Мультиагентная имитационная модель пищеварительной системы

Структурно-параметрическая модель пищеварительной системы человека (рисунок 43) с динамикой изменения ее состояния, описываемой системами конечно-разностных алгебраических уравнений (80) и субстрат-ферментативными дифференциальными уравнениями (81), положены в основу агентно-ориентированной имитационной модели пищеварительной системы и адекватного питания человека, реализованной в универсальной имитационной системе Simplex3 [71, 20].

На этапе 1 составили краткое смысловое описание химико-физиологических и биохимических процессов расщепления поступающих с пищей белков, жиров и углеводов до нутриентов (незаменимых аминокислот, жирных кислот, глюкозы и др.), всасываемых в лимфу, кровь, депо, и далее переносимых в органы желудочно-кишечного тракта и другие органы жизнеобеспечения человека. На основе этого описания разработали логико-информационная модель совокупности биохимических процессов, протекающих в органах ЖКТ (рисунок 44).

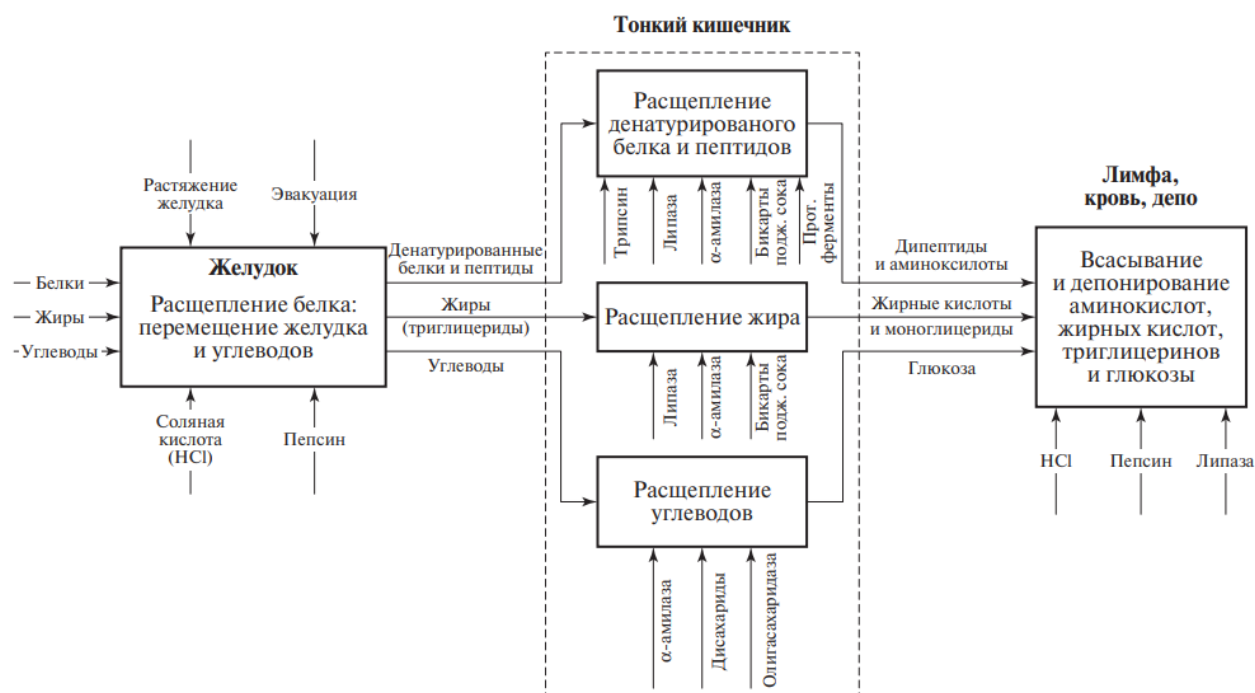


Рисунок 44. – Логико-информационная модель биохимических процессов в желудочно-кишечном тракте как живой биохимической системе

На этапе 2 в соответствии с логико-информационной моделью (рисунок 44) сформировали структурную блок-схему мультиагентной модели желудочно-кишечного тракта (рисунок 45), включающую следующие блоки.

Блок “*рацион (Ration of food)*” описывает поступление в ротовую полость и прохождение через пищевод пищи, содержащей белки, жиры углеводы и витамины.

Блок интеллектуального агента-органоида “*желудок (Stomach)*” отображает поступление в желудок компонентов пищи, денатурацию белков и их расщепление под действием желудочного сока до пептидов и направление их вместе с транзитом жиров и углеводов в тонкий кишечник.

Блок интеллектуального агента-органоида “*тонкий кишечник (Small intestine)*” имитирует дальнейшее расщепление денатурированного белка и пептидов до дипептидов и аминокислот под действием протеолитических ферментов и бикарбонатов поджелудочного сока, трипсиногена, липазы и

альфа-амилазы; перевод жиров в эмульгированное состояние, их расщепление на моноглицериды и жирные кислоты, а также расщепление поступивших из желудка углеводов (полисахаридов) на олигосахариды и дисахариды до глюкозы.

Обобщённый блок интеллектуального агента-органоида “*лимфа, кровь и депо (Lymph, blood and depot)*” отображает процесс всасывания и накопления конечных ингредиентов биологической ценности – аминокислот, жирных кислот, триглицеридов и глюкозы – в количествах, необходимых для функционирования других органов и систем жизнеобеспечения живой биохимической системы.

Блок интеллектуального агента-органоида “*гормональная подсистема*” включает в себя поджелудочную железу, которая влияет на внутреннюю биохимическую среду интеллектуального агента-органоида “желудок (Stomach)” и “тонкий кишечник (Small intestine)” с помощью пептидных гормонов (антральный и фундальный соматостатин, инсулин, холецистокинин, секретин, гастрин и гистамин). Данный блок также описывает выработку глюкагона. Эти гормоны воздействуют на состояние интеллектуального агента-органоида “тонкий кишечник (Small intestine)” и оказывают влияние на процессы всасывания аминокислот, жирных кислот, триглицеридов и глюкозы в лимфу, кровь и далее в соответствующие органы, имитируемые интеллектуальными агентами-органоидами “*лимфа, кровь и депо (Lymph, blood and depot)*”.

Структурная схема мультиагентной модели (рисунок 44) включает два компонента ЖКТ – *Ag.Stomach* (агент-желудок) и *Ag.Small_intestine* (агент-тонкий кишечник); накопительные агенты, воспроизводящие поступление ингредиентов биологической ценности в соответствующие среды организма – *lymph* (лимфа), *blood* (кровь) и *depot* (депо); а также компоненты *Control_system* (управляющая биосреда) и *Ration of food* (рацион питания).

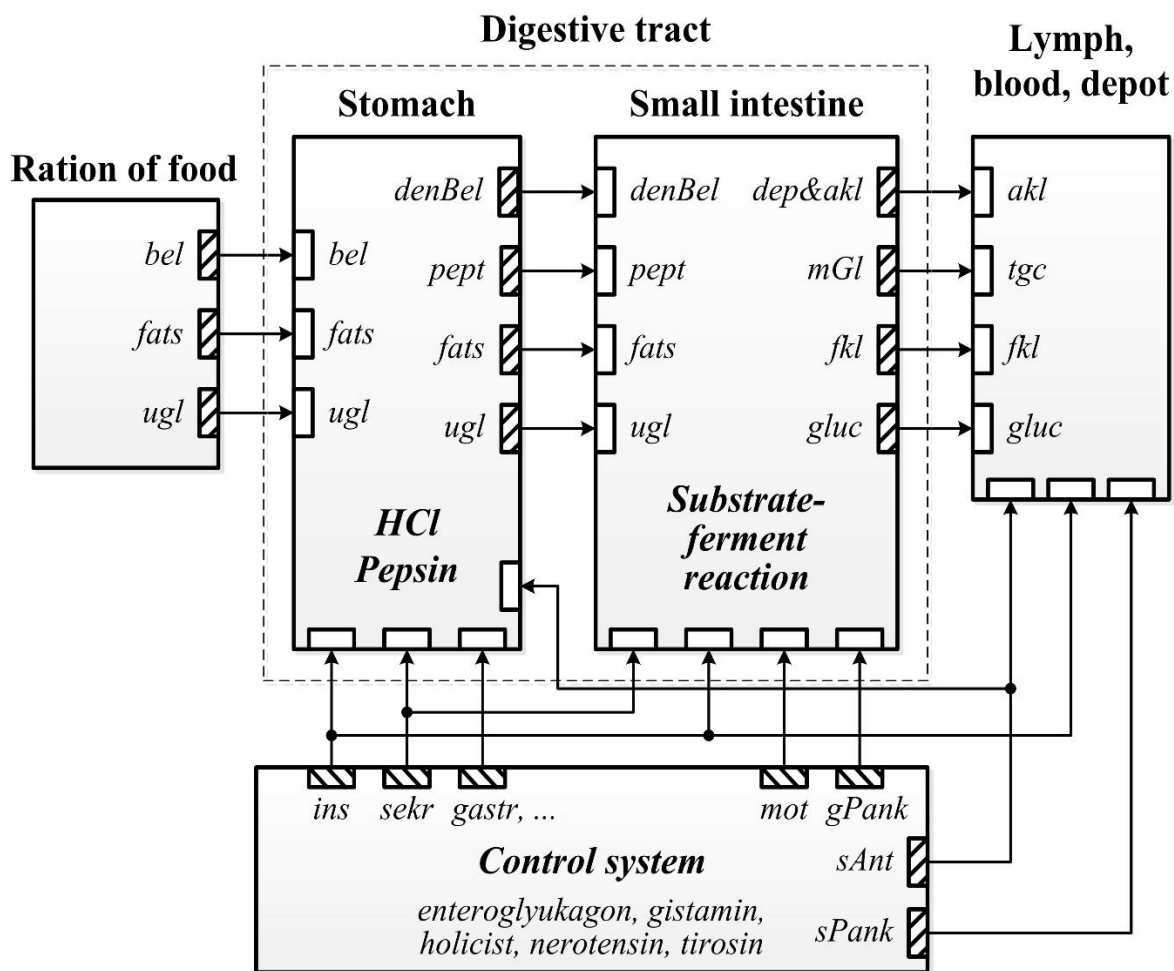


Рисунок 45. – Укрупненная структурная схема мультиагентной модели пищеварительной системы.

bel – белок, *fats* – жиры, *ugl* – углеводы, *HCl* – соляная кислота, *Pepsin* – пепсин, *denBel* – денатурированные белки, *pept* – пептиды, *gluc* – глюкоза, *fkl* – жирные кислоты, *mGl* – моноглицериды, *dep* – депептидаза, *akl* – аминокислоты, *tgc* – триглицерид, *ins* – инсулин, *sAnt* – соматостатин антральный, *sPank* – соматостатин панкреатический, *mot* – мотилин, *sekr* – секретин, *gastr* – гастрин, *gPank* – глюкагон панкреатический, *Substrate-ferment reaction* – субстрат-ферментативные реакции, *Stomach* – желудок, *Small intestine* – тонкий кишечник, *Lymph, blood, depot* – лимфа, кровь, депо, *Ration of food* – рацион питания, *Control system* – управляющая система.

Агенты и описываются в виде базисных компонентов на агентно-ориентированном языке моделирования *Simplex3-MDL*, (*Modell Deskription Language*) [71] с **декларированием** переменных состояния и связей агента и **описанием динамики** поведения с помощью алгебраических и дифференциальных уравнений или дискретно-событийного описания. Связь между базисными компонентами осуществляется с помощью сенсорных переменных, изменение значения которых в одних агентах непосредственно передается другим и отражается в их состоянии.

Структура соединений агентов в мультиагентной модели описывается в соответствии со схемой (рисунок 44) компонентом верхнего уровня *GKT_High*, состоящим из разделов SUBCOMPONENTS и COMPONENT CONNECTIONS (рисунок 46).

HIGH LEVEL COMPONENT **GKT_High**

SUBCOMPONENTS

Ration	# рацион питания
Stomach,	# желудок
Smallint,	# тонкий кишечник
lymph, blood ,	# лимфа, кровь
depot,	# депо
Controlsyst,	# управляющая биосреда

COMPONENT CONNECTIONS

```

Ration.Bel --> Stomach. bel;
Ration. fats --> Stomach. fats;
Ration. ugl --> Stomach. ugl);
    Stomach. denBel --> Smallint.denBel;
    Stomach. pept --> Smallint.pept;
    Stomach. fats --> Smallint. fats.;
    Stomach. ugl --> Smallint.ugl
Smallint.dep --> (lymph.dep, blood.dep, depot.dep);
Smallint. akl --> (lymph. akl, blood.akl, depot. akl);
Smallint.mGl --> (lymph.tgc, blood.tgc, depot.tgc);
Smallint.fkl --> (lymph.fkl, blood.fkl, depot.fkl);
Smallint.gluc--> (lymph.gluc,blood.gluc,depot.gluc);
    Controlsyst.ins --> ( Stomach.ins, Smallint.ins,
        lymph.ins, blood.ins, depot.ins);

```

```
Controlsyst. sekr --> (Stomach.sekr, Smallint.sekr,
                      lymph.sekr, blood.sekr, depot.sekr);
```

```
.....
END OF GKT_High
```

Рисунок 46. – Листинг программного кода Компонента верхнего уровня мультиагентной модели *GKT_High*

В связях между компонентами в левой части указывается базисный компонент и его экспортируемый параметр, направляемый на сенсорный вход взаимосвязанного компонента.

Результаты имитации изменения состояния агентов *Stomach* и *Smallint* в системе *Simplex3* в соответствии с описанием их субстрат-ферментативной динамики приведены на рисунках 47, 48, 49.

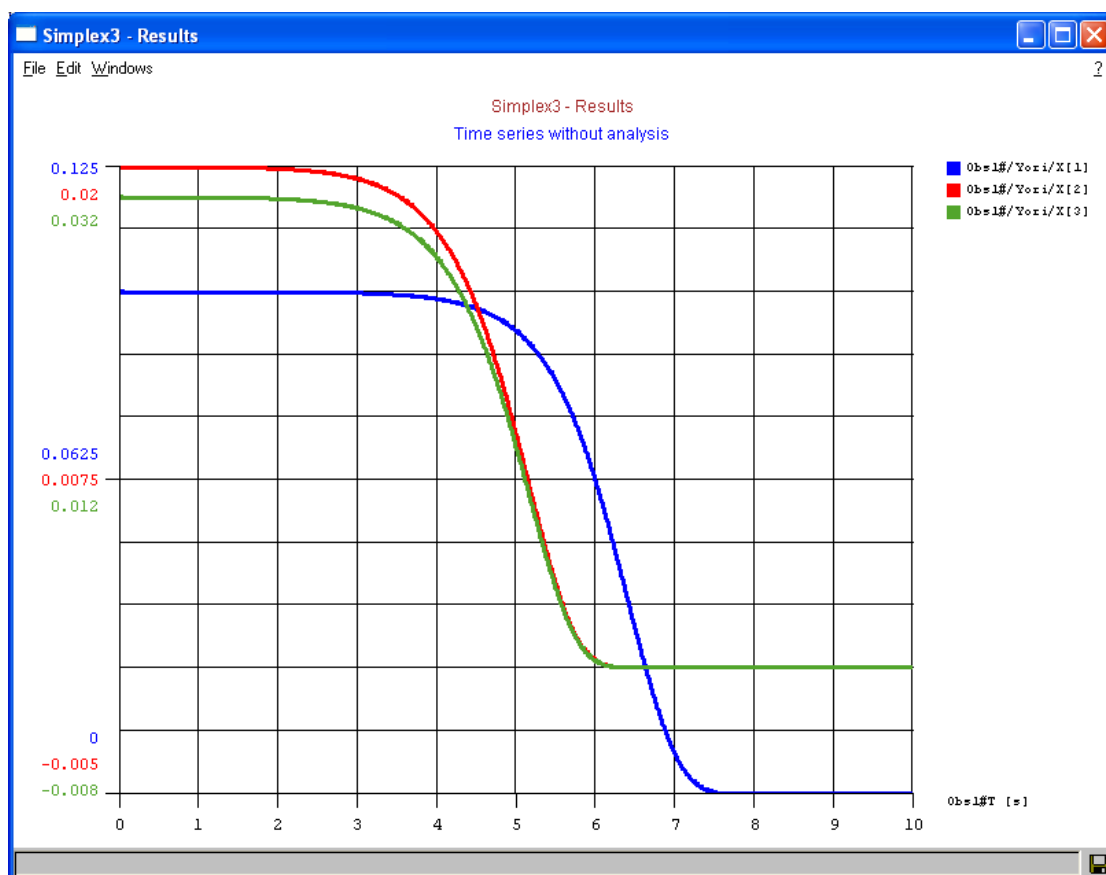


Рисунок 47. – Изменение концентрации белков X_1 , жиров (триглицеридов) X_2 , и углеводов (полисахаридов) X_3 в желудке в процессе пищеварения.

Для заданной начальной концентрации: белков – $X_1 = 0.10$; жиров (триглицеридов) – $X_2 = 0.02$; углеводов (полисахаридов) – $X_3 = 0.03$ в соответствии с описанием динамики поведения и времени протекания процесса в конкретном случае можно наблюдать изменения концентрации белков X_1 , жиров (триглицеридов) X_2 , и углеводов (полисахаридов) X_3 в процессе пищеварения в желудке (рисунок 47).

В желудке наблюдается снижение концентрации **белкового субстрата** X_1 , который переходит в денатурированную форму и/или эвакуируется из желудка. Одновременно с этим падает концентрация жиров и углеводов, т.к. в процессе пищеварения они расщепляются до более простых веществ, поддерживающих жизнедеятельность организма.

Кривые изменения концентрации пептидов X_7 , дипептидов и аминокислот X_8 и жиров (триглицеридов) X_9 в тонком кишечнике показаны на рисунке 48.

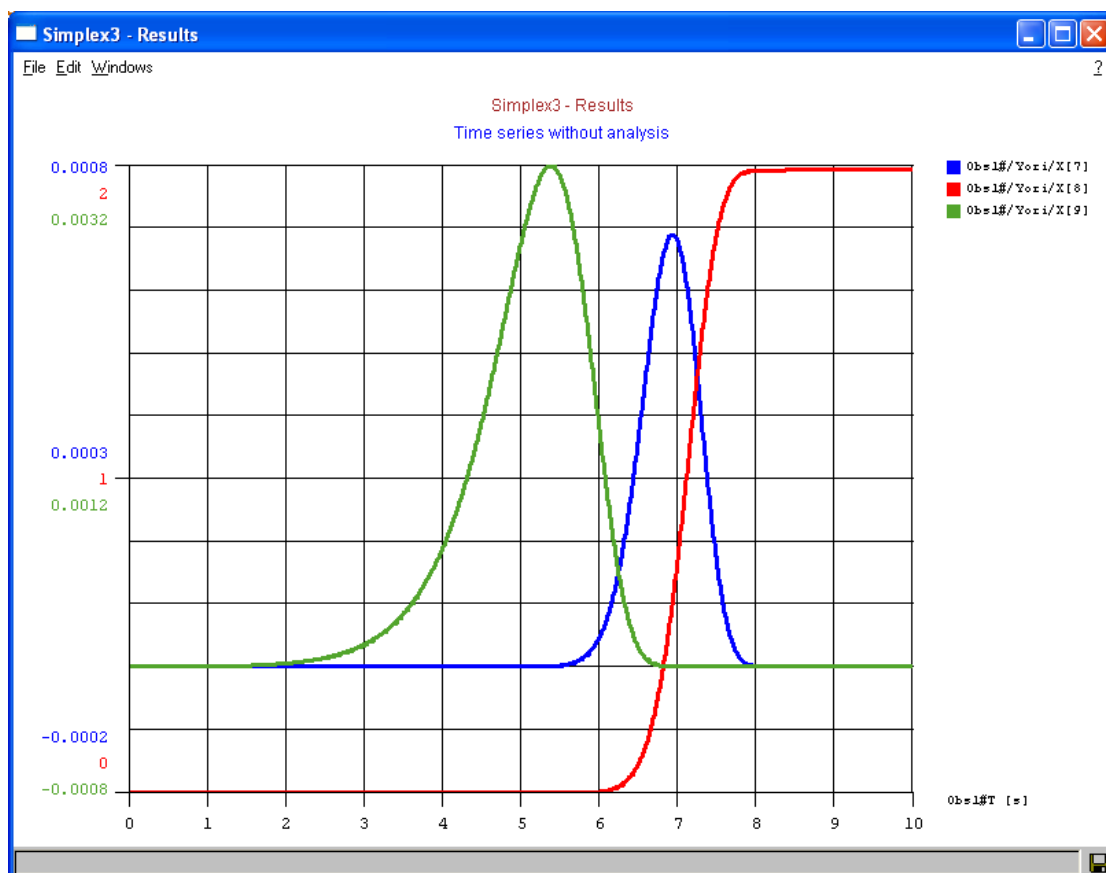


Рисунок 48. – Изменение концентрации пептидов X_7 , дипептидов и аминокислот X_8 и жиров (триглицеридов) X_9 в тонком кишечнике

Кривые показывают, что при белковой пище в тонкой кишке происходит повышение активности жиров X_9 , вслед за чем следует увеличение пептидов X_7 , которое, в свою очередь, с некоторой задержкой сопровождается возрастанием концентрации дипептидов и аминокислот X_8 .

Одновременно наблюдается снижение белкового субстрата в желудке (рисунок 47), который переходит в денатурированную форму и эвакуируется из желудка.

На рисунке 49 представлены графики изменения концентрации эмульгированных жиров X_9 , жирных кислот X_{10} и углеводов (полисахаридов X_{13}) в тонком кишечнике. Наблюдается прогрессивное снижение концентрации эмульгированных жиров X_9 , переходящих в жирные кислоты и эвакуируемых из тонкой кишки.

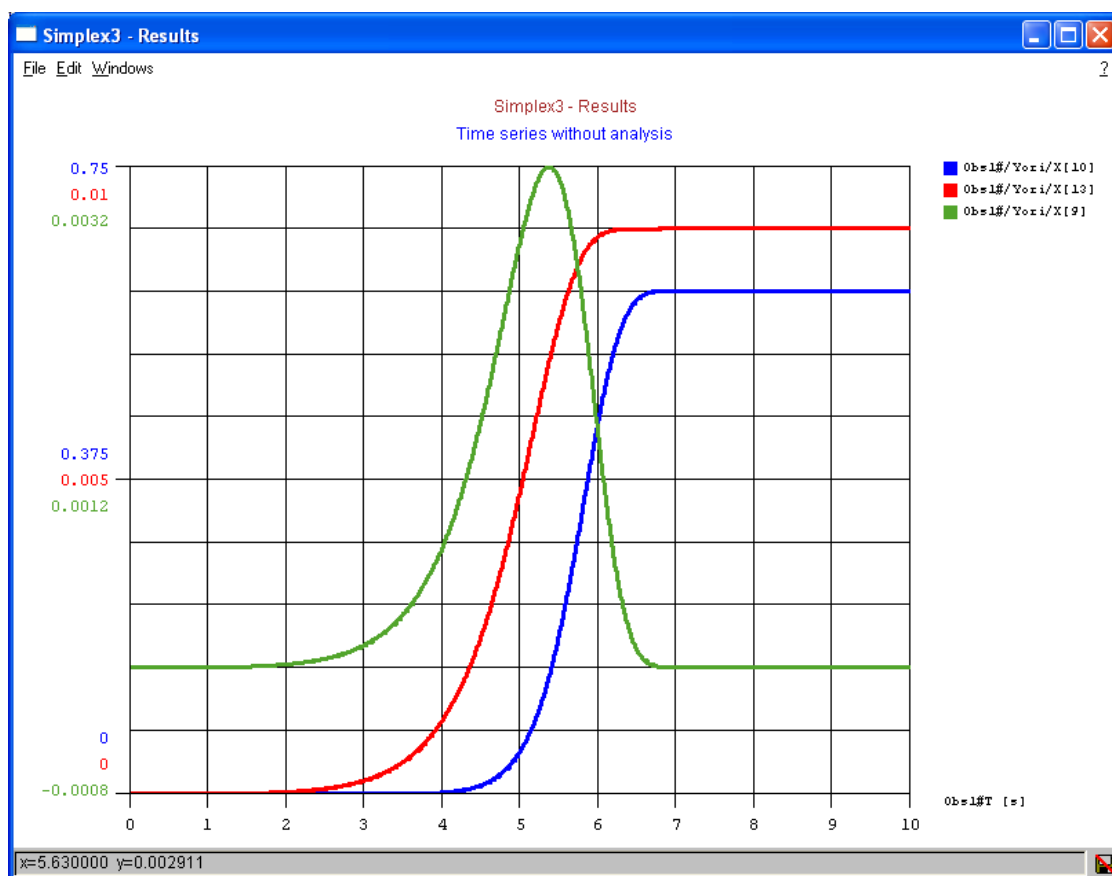


Рисунок 49. – Изменение концентрации эмульгированных жиров X_9 , жирных кислот X_{10} и углеводов (полисахаридов) X_{13} в тонком кишечнике

Приведенные фрагменты реализации модели желудочно-кишечного тракта человека с использованием языка моделирования в универсальной имитационной системе Simplex 3 показывают возможности виртуального изучения влияния различных показателей пищевой ценности продукта питания на скорость пищеварения и процесс расщепления сложных компонентов (белков, жиров и углеводов) до моноструктурных элементов в зависимости от различных факторов состояния и воздействия.

Заключение по главе 7

Предложенная методология разработки оригинальной компьютерной мультиагентной модели биохимической системы позволяет в короткий срок отображать сложные химико-физиологические процессы и биохимические процессы в интеллектуальных агентах-органоидах в зависимости от изменяющегося состояния внутренней среды каждого интеллектуального агента-органоида и воздействий управляющей гормональной системы, определяющей активность ферментов и скорость ферментативных реакций в желудочно-кишечном тракте.

В отличие от традиционных математических моделей химико-физиологических процессов, предложенная мультиагентная модель биохимической системы при простоте программной реализации позволяет непрограммирующему пользователю изучать весь комплекс взаимосвязанных химико-физиологических процессов в желудочно-кишечном тракте – от процессов поступления в организм человека белков, жиров и углеводов до процессов выделения биохимических элементов биологической ценности пищи (аминокислот, жирных кислот и глюкозы) и процессов всасывания их в лимфу и кровь при разных условиях жизнедеятельности и жизнеобеспечения человека.

Глава 8 ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Сенсорный анализ и оценка качества продуктов питания служит основой товарной экспертизы состояния продовольственных товаров и прогнозирования покупательского спроса. Применение современных методов сенсорного анализа требует от дегустаторов не только специализированных знаний методологии, процедур формирования лексических словарей и шкал желательности, но и предоставление подтверждающих объективности полученных результатов [118].

Независимо от опыта и степени обученности дегустаторов всегда возникают индивидуальные различия в оценках состояния и качества пищевых продуктов, связанные с субъективной сенсорной чувствительностью, базой знаний и субъективностью шкал органолептических измерений [142, 167]. В связи с этим адекватная интерпретация и объективизация индивидуальных оценок дегустаторов требует разработки IT-технологий факторного анализа результатов дегустации пищевого продукта на основе методов математической статистики [112] и компьютерных программ обработки и визуализации данных сенсорного контроля качества изделия.

Сложность решения этой задачи, обуславливается вероятностным разбросом характеристик и свойств исходного биологического сырья, а также субъективностью мнений отдельных экспертов-дегустаторов. Образцы для тестирования не бывают полностью идентичны по содержанию элементов пищевой и биологической ценности (белка, жира, соединительной ткани и т.п.) и если эксперт-специалист не обладает достаточными знаниями и компетенциями, то даже самый совершенный программный продукт не позволит провести достоверный качественный анализ данных [35].

Поэтому адекватность оценки в каждом конкретном случае существенно зависит от влияния человеческого фактора с индивидуальными психофизиологическими возможностями сенсорного восприятия и нуждается в

коррекции проверке объективности экспертных оценок с учетом согласованности мнений и опыта определенной группы экспертов.

Обычно для простых сенсорных исследований используют однофакторные методы, обеспечивающие надежные и достоверные результаты. Тем не менее, данные, имеющие многоуровневую структуру, анализируют многофакторными статистическими процедурами [162]. Так, многофакторный дисперсионный анализ позволяет определять различия между двумя или более наборами данных по всем зависимым переменным одновременно. Это способствует сохранению низкого уровня общей ошибки первого рода и решению вопроса взаимодействия между зависимыми переменными. Кроме того, многофакторный дисперсионный анализ помогает установить комбинации сенсорных переменных, позволяющих различать образцы, в случае, когда не обнаруживается отличие по каждой из них в отдельности [121].

Другим, актуальным многомерным методом, является метод главных компонент, который упрощает и описывает взаимосвязь между несколькими зависимыми переменными (как правило, дескрипторами) и объектами (как правило, продуктами). Принцип работы метода заключается в преобразовании исходных зависимых переменных в новые некоррелируемые размерности, что особенно важно в сенсорном анализе, где несколько зависимых переменных часто являются коллинеарными. Например, в описательных исследованиях, эксперты часто оценивают запах и флейвор в продукте, при этом возможно, что такой подход является избыточным, поскольку и запах и флейвор измеряют одну характеристику. Метод главных компонент позволяет выявлять избыточности путем преобразования данных в новый набор переменных, называемый основными компонентами.

Многофакторный дисперсионный анализ и метод главных компонент являются наиболее распространенными многомерными методами для анализа данных большинства классических описательных методов. Тем не менее, в сенсорном анализе используют и другие процедуры обработки данных.

Например, дискриминантный и канонический вариационный анализ используются в классификации образцов продукции и анализе взаимосвязей между их дескрипторами. При этом они позволяют получить более достоверные результаты, чем метод главных компонент. Дискриминантный и канонический вариационный анализ относятся к многомерной технике значимого разделения, аналогично многофакторному дисперсионному анализу. Эти методы особенно полезны, когда нужно использовать исходные данные, чтобы получить информацию о межпродуктовой или внутрипродуктовой изменчивости.

Общий прокрустов анализ можно использовать для сравнения гедонических и описательных сенсорных данных; описательной информации, полученной от разных экспертных групп различными методами; результатов, инструментальных и сенсорных исследований; проблемах согласованности используемых терминов. При выполнении общего прокрустова анализа данные каждого дегустатора подвергаются смещению в фазе стандартизации, а оценки центрируются по их происхождению (исходным данным). Преимуществом общего прокрустова анализа является минимизация различий в терминах, использованных каждым дегустатором. Это дает возможность учитывать применение различных терминов для описания одного и того же ощущения.

Выбор метода статистической обработки для реализации задачи создания программного обеспечения по обработке сенсорных данных основывался на его возможности устанавливать изменчивость и различия между оценками дегустаторов.

Применение однофакторного дисперсионного анализа в данном случае является недостаточным (некорректным), поскольку требуется, чтобы анализировались несколько объектов с множеством переменных. Такую позицию разделяет ряд авторов, установивших, что использование однофакторного дисперсионного анализа в случае обработки результатов оценки нескольких продуктов по нескольким дескрипторам дает завышение

ошибки I типа и невозможность точной оценки ее увеличения [42, 45]. Таким образом, в качестве базового статистического метода был предложен многофакторный (двухфакторный) дисперсионный анализ. Необходимо отметить, что аналогичные подходы по статистической обработке данных рекомендуются международными стандартами ISO в области сенсорного анализа.

В связи с этим предлагается информационная технология экспертной обработки сенсорных оценок качества пищевых продуктов по показателям, не измеряемым техническими средствами контроля, на основе методов ранговой корреляции и многофакторного дисперсионного анализа в программной реализации компьютерной системы с сетевой архитектурой «клиент–сервер».

Методология многофакторного дисперсионного анализа была положена в основу разработки программного обеспечения с архитектурой «клиент–сервер» по сбору и статистической обработке сенсорных данных [48]. Точный критерий Фишера перебирает все возможные варианты таблицы сопряженности с одними и теми же суммарными частотами по строкам и столбцам, т.е. осуществляет всевозможное построение нуль-моделей, строящихся из предположения об отсутствии влияния изучаемого фактора [141, 107].

8.1. Алгоритм многофакторного дисперсионного анализа

При двухфакторном дисперсионном анализе используется группировка по двум факторам, то есть дополнительно исследуются индивидуальные различия между дегустаторами в группе. Следует отметить, что в этом случае порядок представления образцов дегустаторами должен быть индивидуальным для каждого. Например, если оцениваются 2 образца – А и В, то их комбинации АВ и ВА; если 3 образца – А, В и С, то их комбинации АВС, АСВ, ВАС, ВСА, САВ, СВА должны быть распределены между дегустаторами в равных пропорциях, т.е. обеспечивается полная рандомизация.

При двухфакторном анализе помимо экспериментальной ошибки включают дисперсию, обусловленную индивидуальными различиями дегустаторов (рисунок 50).

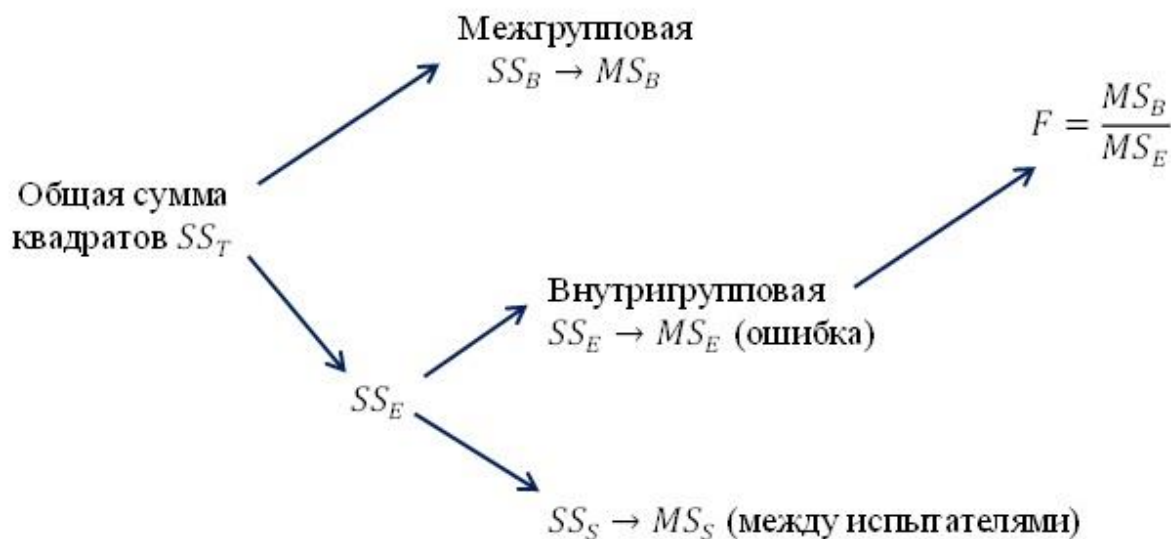


Рисунок 50. – Схема ошибок при двухфакторном дисперсионном анализе

Как видно из рисунка 50, общая дисперсия равняется сумме внутригрупповой и межгрупповой дисперсий. Очевидно, SS_T – общая сумма квадратов равняется сумме двух слагаемых SS_B – сумме межгрупповых квадратов и SS_E – сумме внутригрупповых квадратов. Два этих показателя необходимы для вычисления межгрупповой и внутригрупповой оценки общей дисперсии.

Таким образом, в двухфакторном дисперсионном анализе вычисляется значение критерия Фишера не только как отношение межгрупповой и внутригрупповой оценок дисперсии $F = \frac{MS_B}{MS_E}$, но и значение критерия, как отношение оценки дисперсии между субъектами к внутригрупповой $F = \frac{MS_S}{MS_E}$.

Методология дисперсионного анализа была положена в основу разработки программного обеспечения с архитектурой «клиент–сервер» по сбору и статистической обработке сенсорных данных. Проведение обработки

результатов сенсорной оценки можно изложить в виде следующего тестового алгоритма:

1. установление размера выборки из генеральной совокупности;
2. формулирование нулевой (H_0) и альтернативной (H_1) гипотезы;
3. выбор уровня значимости ($\alpha = 0,01$; или $\alpha = 0,05$; или $\alpha = 0,1$);
4. проведение оценки; сбор данных;
5. вычисление суммарных статистических критериев и критериев для проверки нулевой (H_0) гипотезы;
6. принятие или отрицание нулевой (H_0) гипотезы;
7. интерпретация результатов.

Обработка данных осуществляется по алгоритму, укрупненная блок-схема которого представлена на рисунке 51.



Рисунок 51. – Укрупненная блок-схема двухфакторного дисперсионного анализа

На первом этапе происходит расчет средних значений по строкам, столбцам и всех значений (общего среднего).

Для оценки степени влияния тех или иных факторов на результаты эксперимента (2 этап), общую сумму квадратов отклонений наблюдений от общего среднего раскладывают на компоненты, зависящие от рассматриваемых факторов (фактор случайности, фактор взаимодействия, факторы x_1 – продукты и x_2 – дегустаторы).

На третьем этапе производят оценку дисперсий. Каждая из полученных сумм, разделенная на соответствующее ей число степеней свободы дает несмешанную оценку соответствующей дисперсии.

Анализ существенности влияния факторов и их взаимодействия (4 этап) производится с использованием критерия Фишера-Снедекора при выбранном уровне значимости.

8.2. Программная реализация экспертной системы с архитектурой «клиент–сервер» сенсорной оценки качества продуктов питания

Программный комплекс экспертной системы на основе сетевой архитектуры «клиент–сервер» состоит из двух подсистем: программного обеспечения сервера и пользователя – клиента [44, 33]. Программная подсистема «клиент» устанавливается на компьютере пользователя и передает запросы к подсистеме «сервер» на компьютер общего доступа для обработки данных и запросов клиентов и обратного их возвращения на компьютер пользователя.

Функциональная структура системы включает шесть модулей, осуществляющих ввод параметров оценки и оценка дескрипторов продукта; создание набора данных для анализа; сенсорный профиль; сравнение с эталоном; помощь (пользователю и администратору). Перечень параметров (рисунок 52), определяемый целью дегустации, включает в себя:

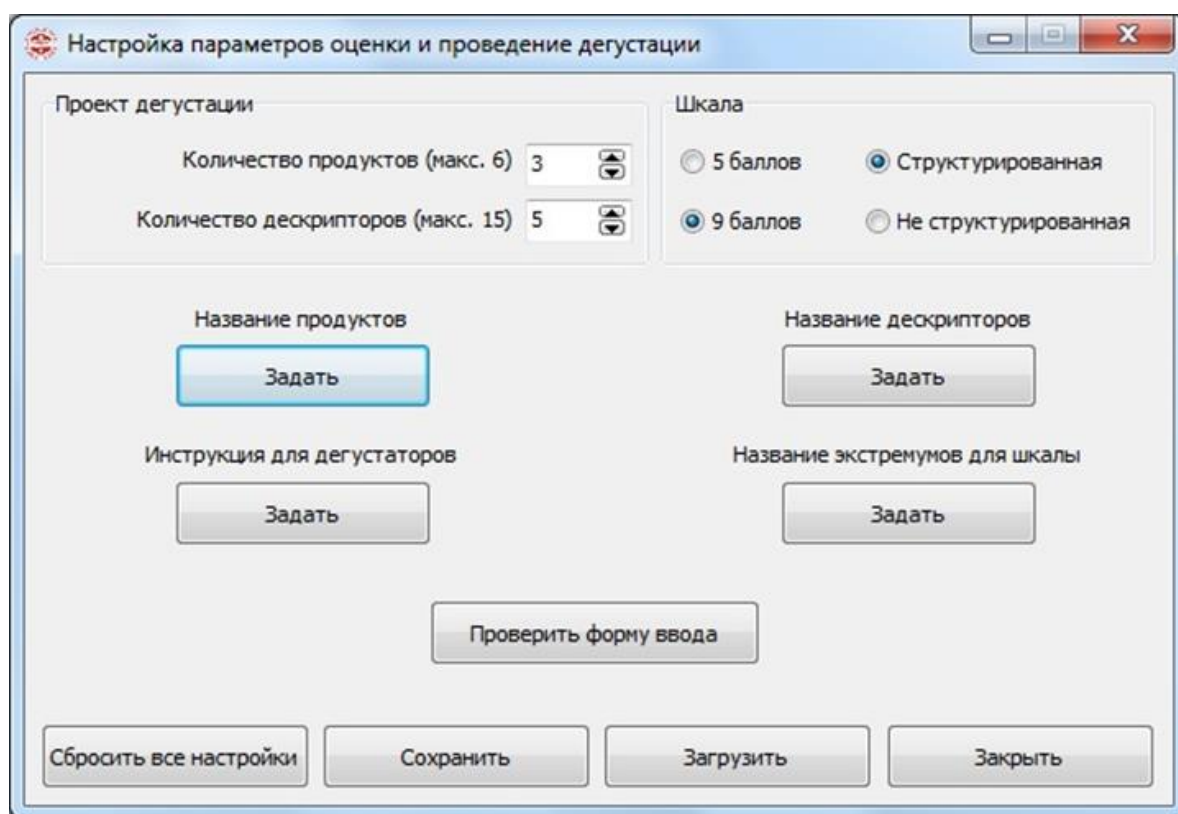


Рисунок 52. – Модуль параметров настройки

- количество дегустируемых образцов и оцениваемых дескрипторов;
- тип шкалы (структурированная или неструктурированная);

используются структурированные пяти- и девятибалльные шкалы, согласно которым каждый показатель имеет соответственно 5 или 9 степеней качества. По пятибалльной шкале: 5 баллов означают отличное качество; 4 – хорошее; 3 – удовлетворительное; 2 – неудовлетворительное, но допустимое; 1 – неудовлетворительное.

Девятибалльная шкала, рекомендованная в ФНЦ пищевые системы им. В.М. Горбатова, расширяет диапазон органолептической оценки качества с вводом балльной шкалы количественных характеристик: 9–для оптимального качества; 8 – очень хорошего; 7–хорошего; 6–выше среднего; 5–среднего; приемлемого, но нежелательного – 4 или 3; неприемлемого – 2 или 1.

- наименование оцениваемых дескрипторов;
- папка для сохранения файлов с результатами дегустации (текстовый формат – *.txt);

- инструкция для дегустационной комиссии.

После установки параметров оценки дегустатор подключается к программе-сервер (рисунок 53) и вводит свои идентификационные данные (например, Ф.И.О.) и далее, с помощью шкалы интенсивности дескрипторов в образцах продукции оценивает индивидуально интенсивность дескрипторов продукта, регистрируя результаты от начала шкалы. После оценки всех дескрипторов в первом продукте дегустатор переходит к оценке следующего продукта или завершает дегустацию.



Рисунок 53. – Подключение дегустатора к программе Программе-Сервер через Программу-Клиент

Модуль «Создание набора данных для анализа» обеспечивает возможность выполнения следующих задач:

- импортировать и объединять оценки дегустаторов в массив данных по критериям – образец, дегустатор, дескриптор;
- визуально отображать количество выбранных объектов для объединения в массив – дегустаторов, образцов, дескрипторов;
- сохранять полученный массив.

Модуль «Сенсорный профиль» обеспечивает возможность выполнения следующих задач:

- загружать ранее сохраненный массив данных (по критериям – образец, дегустатор, дескриптор);
- визуально отображать количество выбранных объектов в массиве (образцов, дегустаторов, дескрипторов);
- удалять массив данных;

- проверять общую согласованность всей дегустационной комиссии по всем дескрипторам всех образцов;
- визуально отображать результаты проверки общей согласованности по объектам словами «согласованная оценка» или «не согласованная оценка»;
- сохранять результаты проверки общей согласованности по объектам;
- визуально отображать результаты несогласованной оценки дегустатора по дескрипторам и образцам в виде графика (рисунок 54);

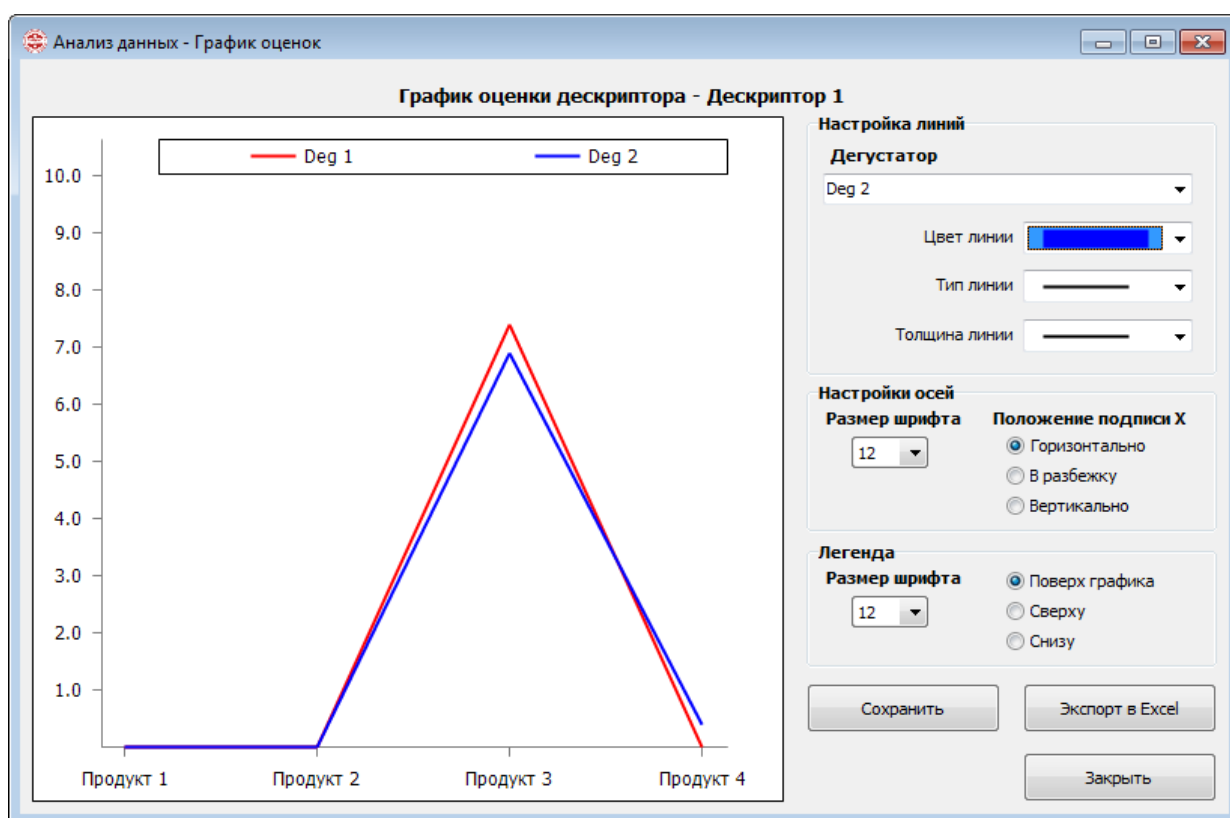


Рисунок 54. – График оценки дескриптора

- сохранять результаты несогласованной оценки дегустатора в графическом и числовом формате;
- строить сенсорные профили на общем графике по образцам продукции в случае согласованной оценки (рисунок 55);

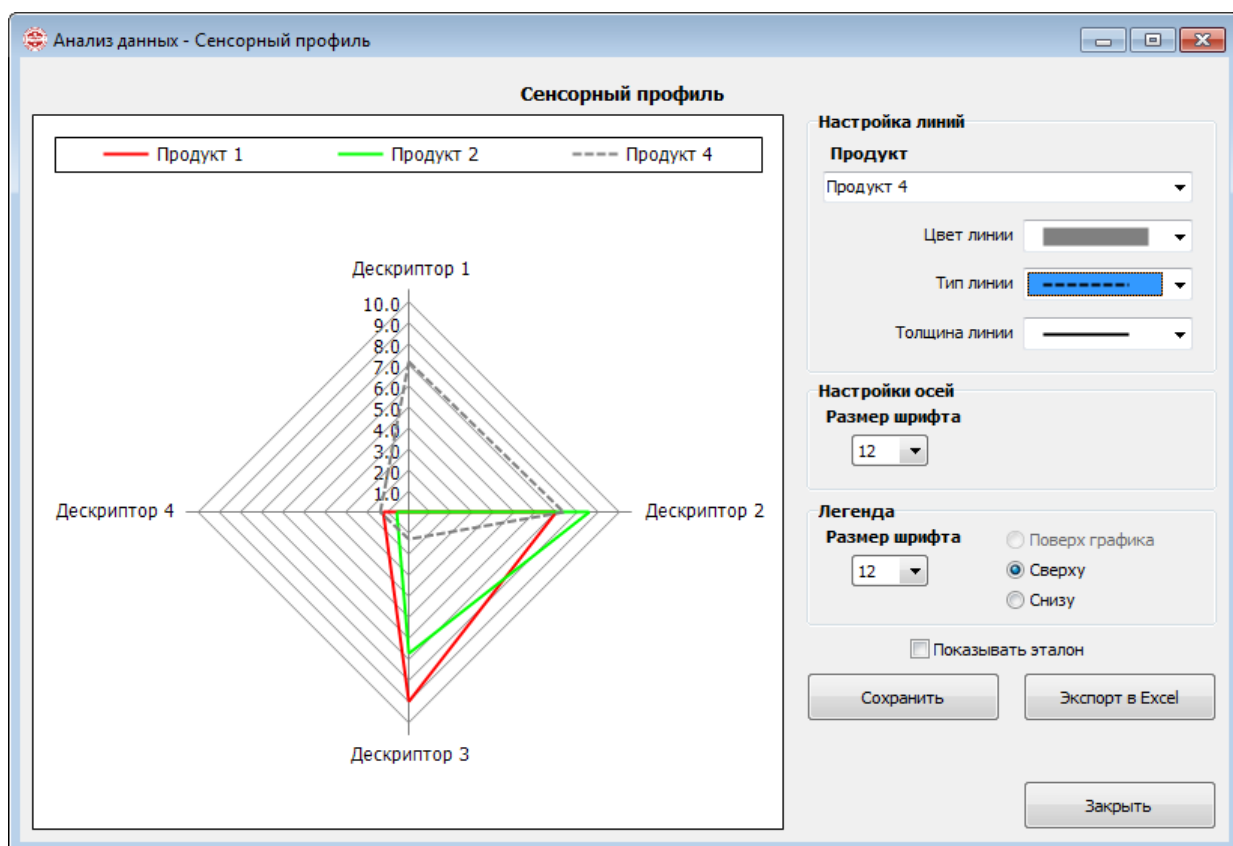


Рисунок 55. – Построение сенсорного профиля

- добавлять и удалять профили образцов на общем графике;
- сохранять результаты построения сенсорных профилей в графическом и числовом формате (в том числе в качестве эталона).

Модуль «Сравнение с эталоном» обеспечивает возможность выполнения следующих задач:

- импортировать данные образца ранее сохраненного в качестве эталона (в виде сенсорного профиля);
- добавлять на график с эталонным образцом ранее полученные сенсорные профили образцов;
- проверять достоверности различий данных эталонного образца и сравниваемого образца/образцов;
- сохранять результаты проверки различий в графическом и числовом формате.

На рисунке 56 в качестве примера представлена таблица результатов двухфакторного дисперсионного анализа по дескриптору – «запах копчения».

Источник вариаций	SS	df	MS	F	P-значение	F-критическое
Продукты	17,2	2	8,6	19,846154	0,00079171085	4,4589701
Дегустаторы	1,7333333	4	0,43333333	1	0,46090535	3,8378534
Погрешность	3,4666667	8	0,43333333			

Анализ результатов: продукты различаются по данному дескриптору
оценки дегустаторов согласованы

График оценок Экспорт в Excel Закрыть

Рисунок 56. – Результаты проверки согласованности дегустаторов по дескриптору «запах копчения»

Здесь: SS – дисперсия; df – степень свободы; MS – несмещенные оценки; F – расчетный критерий Фишера; P -значение – функция F-распределения; F -критическое – табличное значение критерия Фишера.

В качестве нулевой гипотезы (H_0) системой выдвигается: – продукты не влияют на дескриптор вкуса «запах копчения», а также альтернативная гипотеза (H_1) – продукты влияют на дескриптор вкуса «запах копчения». Для их проверки использовался точный критерий Фишера на уровне значимости $\alpha=0,05$.

Из данных на рисунке 56, расчетное значение F-критерия фактора x_1 (продукты) $F \approx 19,85$, а критическая область образуется правосторонним интервалом $(4,46; +\infty)$. Так как F попадает в критическую область, то нулевая гипотеза (H_0) отвергается и принимается альтернативная (H_1) гипотеза, т.е. фактор x_1 (продукты) влияет на дескриптор вкуса «запах копчения».

Аналогично производится оценка по второму фактору – «дегустаторы» с нулевой (H_0) гипотезой – дегустаторы не влияют на дескриптор вкуса «запах

копчения» и альтернативной (H_1) – дегустаторы влияют на дескриптор вкуса «запах копчения».

Числовые значения на рисунке 56 показывают, что расчетный показатель F-критерия фактора x_2 (дегустаторы) $F=1$, а критическая область образуется правосторонним интервалом $(3,84; +\infty)$. Так как F не попадает в критическую область, то нулевая (H_0) гипотеза принимается, т.е. влияние фактора x_2 (дегустаторы) на дескриптор вкуса «запах копчения» не подтвердилось.

Выборочный коэффициент детерминации

$$\bar{\rho}_{x_1^2} = \frac{SS_{x_1}}{SS_{x_1} + SS_{x_2} + SS_E} = \frac{17,2}{17,2 + 1,73 + 3,47} \approx 0,77 \quad (88)$$

где SS_{x_1} , SS_{x_2} – факторные дисперсии x_1 и x_2 ;

SS_E – остаточная дисперсия

показывает, что 77% общей выборочной вариации качества дескриптора («запах копчения») связано с влиянием на него вида продукции.

На рисунке 56 в столбце *P-значение* определено P, соответствующее расчетному значению критерия F.

В приведенном примере *P-значение* для факторов x_1 (продукты) и x_2 (дегустаторы) определяется значениями F ; df и MS данного фактора в соответствующих строках таблицы и имеет значения 0,00079 и 0,46 соответственно.

Согласно критерию Фишера–Снедекора, если *P-значение* меньше 0,05 ($P < 0,05$), то данные не согласуются. На основании расчета, анализа и сопоставления система делает вывод «Продукты различаются по данному дескриптору, оценки дегустаторов согласованны».

В случае согласованной и достоверной оценки программа позволяет построить сенсорный профиль (профилограмму) оцениваемой характеристики продукта (рисунок 57) с количеством осей оценок интенсивности равным количеству определенных дескрипторов.

На рисунке 57 показан пример сенсорного профиля трех образцов вареной колбасы в виде многоугольника с вершинами, объединяющими полученные характеристики продукта.

С помощью аналогичных процедур программа дает возможность определять позицию вырабатываемого на предприятии продукта среди конкурентов на основании сравнения его профиля с профилями продуктов конкурентов.

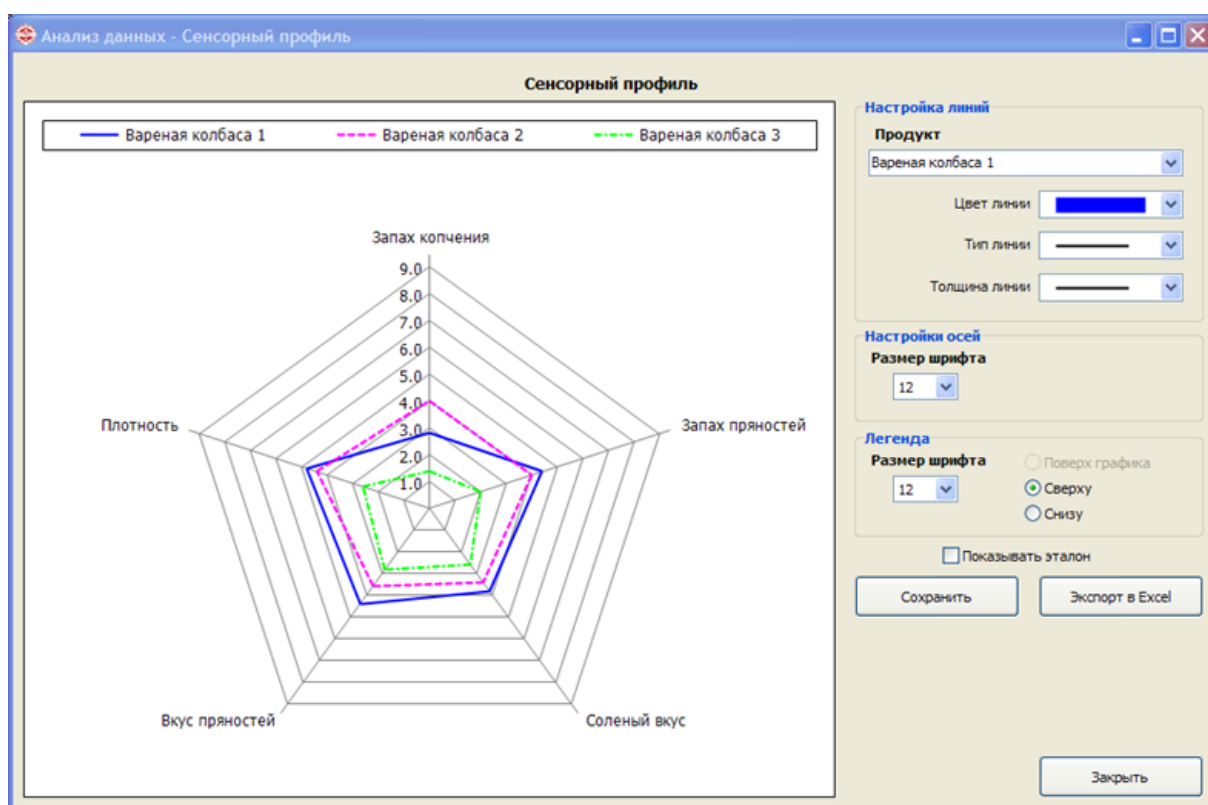


Рисунок 57. – Сенсорный профиль трех образцов вареной колбасы

Для сравнения профиля продукта и «эталона» предварительно вырабатывается эталонный продукт, являющийся базой для сравнения всех продуктов, участвующих в оценке. Характеристики образца-эталона определяют «эталонный» сенсорный профиль, который сравнивается с профилем аналогичного образца другой партии (рисунок 58).

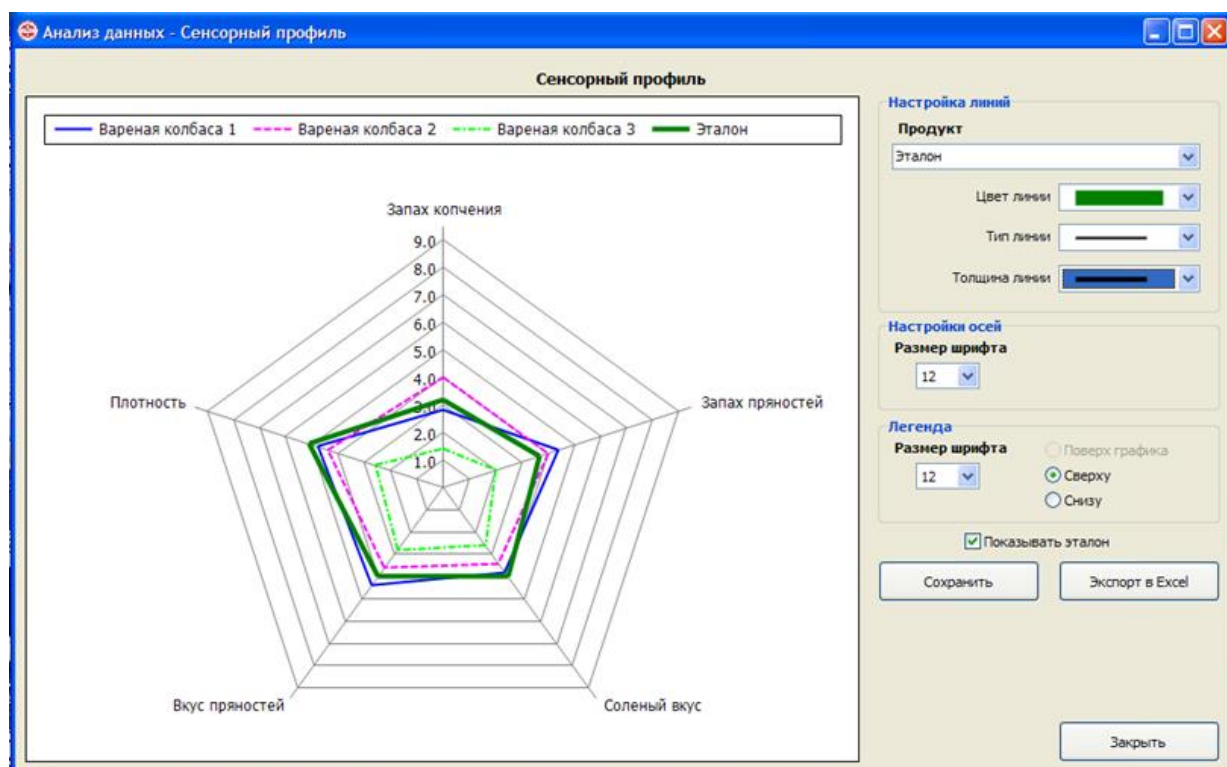


Рисунок 58. – Сенсорный профиль эталона и трех образцов вареной колбасы.

Другим примером работы системы является анализ мясного продукта по дескриптору – «Мускатный орех» (рисунок 59).

Анализ данных

Двухфакторный дисперсионный анализ по дескриптору - Мускатный-орех

ИТОГИ

Источник вариаций	SS	df	MS	F	P-значение	F-критическое
Продукты	98	5	19,6	3,13879	0,03894446	2,9012945
Дегустаторы	20,833333	3	6,9444444	1,1120996	0,37519295	3,2873821
Погрешность	93,666667	15	6,2444444			

Анализ результатов: продукты различаются по данному дескриптору
оценки дегустаторов согласованы

График оценок Экспорт в Excel Закрыть

Рисунок 59. – Результаты проверки согласованности дегустаторов по дескриптору «Мускатный орех»

В качестве нулевой гипотезы (H_0) системой выдвигается: – продукты не влияют на дескриптор вкуса «Мускатный орех», а также альтернативная

гипотеза (H_1) – продукты влияют на дескриптор вкуса «Мускатный орех». Для их проверки использовался точный критерий Фишера на уровне значимости $\alpha=0,05$.

Из данных на рисунке 59, расчетное значение F-критерия фактора x_1 (продукты) $F \approx 3,14$, а критическая область образуется правосторонним интервалом $(2,90; +\infty)$. Так как F попадает в критическую область, то нулевая гипотеза (H_0) отвергается и принимается альтернативная (H_1) гипотеза, т.е. фактор x_1 (продукты) влияет на дескриптор вкуса «Мускатный орех».

Аналогично производится оценка по второму фактору – «дегустаторы» с нулевой (H_0) гипотезой – дегустаторы не влияют на дескриптор вкуса «Мускатный орех» и альтернативной (H_1) – дегустаторы влияют на дескриптор вкуса «Мускатный орех».

Числовые значения на рисунке 59 показывают, что расчетный показатель F-критерия фактора x_2 (дегустаторы) $F = 1,11$, а критическая область образуется правосторонним интервалом $(3,29; +\infty)$. Так как F не попадает в критическую область, то нулевая (H_0) гипотеза принимается, т.е. влияние фактора x_2 (дегустаторы) на дескриптор вкуса «Мускатный орех» не подтвердилось.

Выборочный коэффициент детерминации

$$\bar{r}_{x_1^2} = \frac{SS_{x_1}}{SS_{x_1} + SS_{x_2} + SS_E} = \frac{98}{98 + 20,83 + 93,67} \approx 0,46$$

показывает, что 46% общей выборочной вариации качества дескриптора («Мускатный орех») связано с влиянием на него вида продукции.

В столбце Р-значение определено Р-значение, соответствующее расчетному значению критерия F.

В нашем примере Р-значение для фактора x_1 (продукты) зависит от значений F; df и MS данного фактора, находящихся в первой строчке таблицы, и имеет значение 0,039.

P-значение для фактора x_2 (дегустаторы) зависит от значений F; df и MS данного фактора, находящихся во второй строчке таблицы, и равно 0,38.

Согласно критерию Фишера–Снедекора, если P-значение меньше 0,05 ($P < 0,05$), то данные не согласуются. На основании расчета, анализа и сопоставления система делает вывод «Продукты различаются по данному дескриптору, оценки дегустаторов согласованны».

В случае согласованной и достоверной оценки программа позволяет построить сенсорный профиль (профилограмму) оцениваемой характеристики продукта (рисунок 60) с количеством осей оценок интенсивности равным количеству определенных дескрипторов.

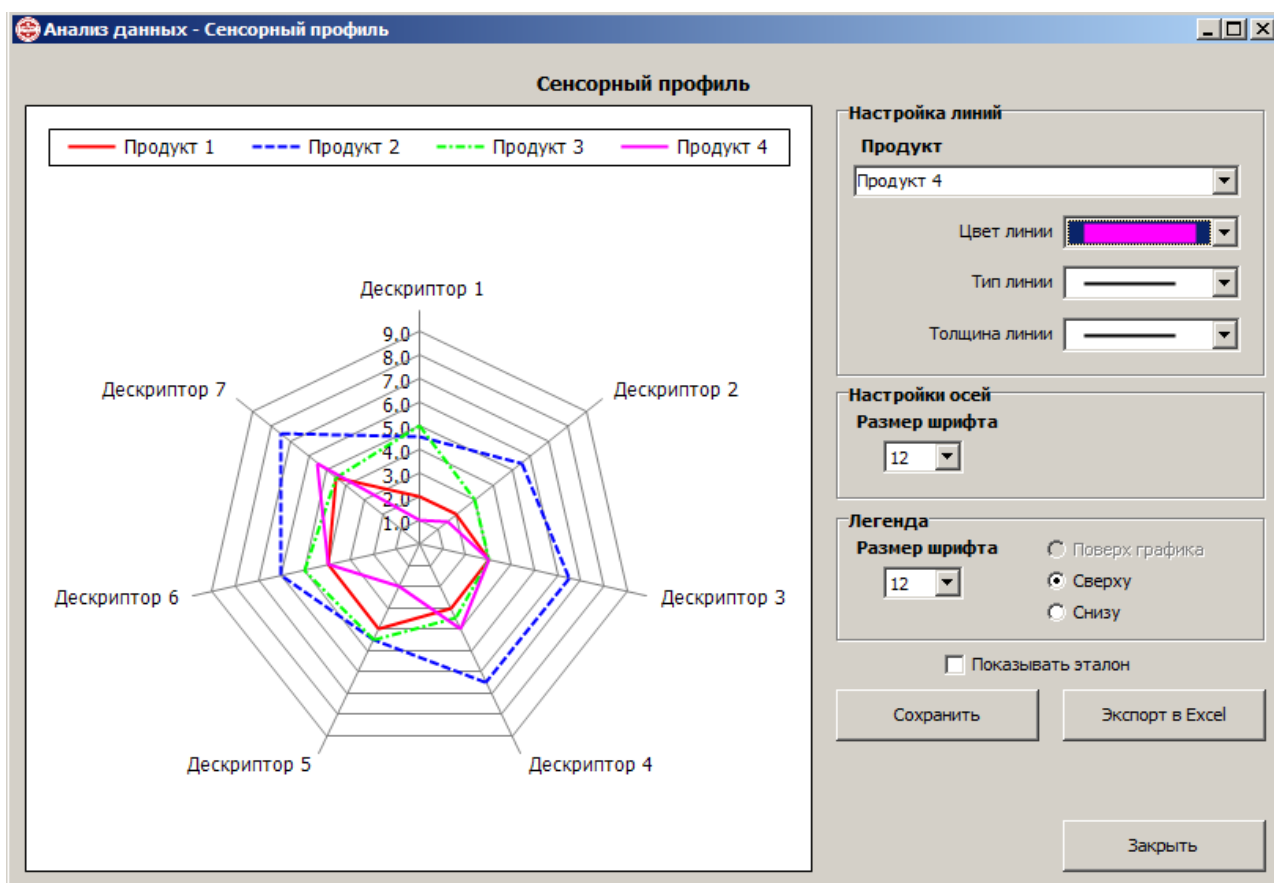


Рисунок 60. – Сенсорный профиль четырех образцов пищевых продуктов

Компьютерная программа позволяет также выявлять изменения в сенсорных характеристиках продукта при замене пищевых ингредиентов,

добавок или пряностей в составе рецептуры, использования новых видов упаковки и др.

Заключение по главе 8

Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных предназначена для получения и анализа результатов дегустационной оценки образцов мясной продукции. Программа обеспечивает выполнение следующих задач: оценка дегустаторами дескрипторов в образцах мясных продуктов по шкале различного типа; объединение полученных результатов оценки дегустаторов в массивы данных по образцам, дескрипторам или дегустаторам для последующего статистического анализа; определение общей согласованности дегустационной комиссии по всем оценкам дескрипторов всех образцов; анализ результатов каждого дегустатора при согласованной и несогласованной оценке дескрипторов; создание сенсорных профилей в виде графиков; сравнение полученных результатов и построенных сенсорных профилей друг с другом или с эталонным образцом. Разработанная на принципах многофакторного дисперсионного анализа данных, компьютерная система с архитектурой «клиент–сервер», в отличие от существующих экспертных систем и пакетов прикладных программ, в режиме on-line реализует информационную технологию автоматизированного сбора, накопления и статистической обработки сенсорных данных от отдельных дегустаторов и их территориально распределенных групп с оценкой объективности и значимости в дружественном интерфейсе и наглядном визуальном представлении в табличных формах и диаграммах с рекомендациями в поддержке принятия решения. При этом точность и надежность объективизируемых оценок определяется накопленным опытом, степенью согласия и компетентностью мнений квалифицированных экспертов-дегустаторов, оценивающих технически неконтролируемые органолептические свойства пищевых продуктов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе анализа и структуризации информации определены направления цифровой трансформации процессов формирования заданного состава и свойств продуктов и рационов питания, а также возможность цифровизации методов контроля качества пищевого сырья и продуктов с целью снижения риска субъективного решения.

2. Разработаны 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. Осуществлена структуризация информации и занесена в разработанные базы данных. Разработан диалоговый алгоритм структурно-параметрической оптимизации питания независимо от его назначения – общее, функциональное, здоровое, персонализированное.

3. Разработаны 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.

4. Разработан пошаговый алгоритм создания «цифровых двойников» - имитационных моделей продуктов общего и специализированного питания. На примерах, разработанных «цифровых двойников» пищевого продукта, технологического и физиологического процессов, 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.

5. 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.

6. Разработан 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. Разработанная мультиагентная модель позволяет получить результат 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%.

7. Теоретические разработки апробированы при обучении студентов, аспирантов, на курсах повышения квалификации ФНЦ пищевых систем, а также при проведении органолептических оценок пищевых продуктов. Разработаны рационы питания студентов и школьников совместно с Московским фондом содействия санитарно-эпидемиологическим благополучием населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. – М.: Радио и связь. – 1992. – 256 с.
2. Агаджанян Н.А., Ветчинкина К.Т. Учебный процесс и здоровье студентов // Современная высшая школа (международный журнал, Варшава). – 1986. – № 1. – С.153.
3. Аникеева Н.В. Мониторинг цифровых систем в пищевой промышленности на материалах Волгоградской области // Пищевая промышленность. – 2018. – № 4. – С. 59-65.
4. Аппаратно-программный комплекс «Истоки здоровья» [Электронный ресурс: <http://www.breath.ru/v.asp?articleid=100>. Дата обращения 05.09.2018].
5. Бойцов С.А., Оганов Р.Г., Масленникова Г.Я., Калинина А.М., Ипатов П.В. Комплексная программа профилактики неинфекционных заболеваний: планирование, реализация, оценка // Профилактическая медицина. Приложение. 2012. Т. 15. № 1. С. 3–18.
6. Борисенко, А.А. (2005). «Etalon»: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610751. М., Роспатент.
7. Бранд З. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров. – Москва: Мир, 2003. 686 с.
8. Бугаец, И.А., Москаленко, Ф.В., Тамова, М.Ю., Бугаец, Н.А. (2007). Разработка рецептур композиций из растительного сырья (РКРС): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610187. М., Роспатент.
9. Вижен-софт: автоматизация питания [Электронный ресурс: http://pitaniesoft.ru/nutrition_programs/baby_food/. Дата обращения 22.04.2018]
10. Головенкин С.Е., Шульман В.А., Горбань А.Н., Россиев А.А. Применение нейросетевой экспертной системы для прогнозирования осложнений инфаркта миокарда // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2005. – Т. 48. № 5. – 19-22.

11. Гращенков, Д.В., Николаева, Л.И. (2002). Система расчетов для общественного питания: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610284. М., Роспатент.
12. Дьяченко Д.В. Соевые белки в мясных продуктах // Мясное дело. – 2002. – С. 34-37.
13. Запорожский, А.А., Запорожский, В.А. (2005). Программа для автоматизированного проектирования, расчёта и оценки качества многокомпонентных рецептур пищевых продуктов (Generic-2.0): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611720. М., Роспатент.
14. Жаринов А.И. «Технологизмы» мясного производства // Мясная индустрия. – 2015. - № 1. – С.42-46.
15. Жаринов А.И. Основы современных технологий переработки мяса Ч. 1 Эмульгированные и грубоизмельченные мясопродукты / Под ред. М.П. Воякина. – Москва: Итар-ТАСС, 1994. – 154 с.
16. Жаринов А.И., Ивашкин Ю.А. Проектирование комбинированных продуктов питания // Все о мясе. – 2004. - № 2. – С.16-21.
17. Жаринов А.И., Ивашкин Ю.А. Проектирование комбинированных продуктов питания // Все о мясе. – 2004. - № 3. – С.6-15.
18. Ивашкин, Ю.А. Системный анализ и исследование операций в прикладной биотехнологии : учеб. пособие – М.: МГУПБ, 2005. – 198 с.
19. Ивашкин Ю.А. Структурно-параметрическое моделирование конфликтных ситуаций в больших системах // Математическое моделирование информационных и технологических систем. – 2000. – № 4. – С. 261–267.
20. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3:– М.: Бином, Лаборатория знаний, 2016. – 350с.
21. Ивашкин Ю.А. Структурно-параметрическое моделирование и идентификация аномальных ситуаций в сложных технологических системах // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 3. – С. 39-43.

22. Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Структурно-параметрическая модель адекватного питания // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2016. – № 9(91). – С. 151-154.
23. Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Мультиагентная имитационная модель желудочно-кишечного тракта человека // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2017. – Т. 5. – С. 77-84.
24. Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Агентно-ориентированное моделирование пищеварительной системы человека // В сборнике VII Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ-2017)». – 2017. – С. 135-140.
25. Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Концепция биологической совместимости в оптимизации рациона питания человека // Научные технологии. – 2018. – Т. 19. - № 3. – С. 33-45.
26. Ивашкин Ю.А., Никитина М.А., Щур Д.А. Моделирование и оптимизация адекватного питания с учетом индивидуальных медико-биологических требований // Теоретический журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». – 2007. – № 2. – с. 71-74
27. Ивашкин Ю.А., Юдина С.Б., Никитина М.А. и др. Информационные технологии проектирования и оценки качества пищевых продуктов направленного действия // Мясная индустрия. – 2000. – № 5 – с. 40-41.
28. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: перевод с англ. – М.: Вильямс. – 2003. – 287 с.
29. Каллан Р. Нейронные сети. Краткий справочник: перевод с англ. – М.: Вильямс. – 2017. – 288 с.
30. Колесникова, Н.Г., Бородихин, А.С., Шамкова, Н.Т., Зайко, Г.М., Григорьев, А.С. (2005). Электронный ресурс для расчёта рационов школьного питания (ШкоОптиПит): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612711. М., Роспатент.

31. Коноваленко Л.Ю., Мишуров Н.П., Голубев И.Г., Никитина М.А., Бредихин С.А. Цифровая трансформация пищевой и перерабатывающей промышленности: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 80 с.
32. Кравченко, Э.Ф., Дунаев, А.В., Волкова, Т.А. (2010). Продукты из вторичного молочного сырья для рецептур плавленых сыров. Сыроделие и маслоделие, 2, 14-17.
33. Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А., Никитина М.А. Повышение объективности результатов органолептической оценки продукции. Разработка программы для анализа сенсорных данных // Мясная индустрия. – 2017. – № 11. – С. 34-36
34. Липатов Н.Н., Лисицын А.Б., Юдина С.Б. Совершенствование методики проектирования биологической ценности пищевых продуктов // Мясная индустрия. – 1996. - № 1. – С. 14-15.
35. Лисицын А.Б., Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А. Комплексный подход к органолептической оценке как инструмент повышения качества продукции // Все о мясе. – 2017. – № 2. – С. 4-7.
36. Лисицын А.Б., Сизенко Е.И., Чернуха И.М., Алексахина В.А., Семенова А.А., Дурнев А.Д. Мясо и здоровое питание / под общей ред. акад. Лисицына А.Б. – М.: ВНИИМП, 2007. – 289 с.
37. Малыгина В.Ф., Меньшикова А.К., Поминова К.М. Основы физиологического питания, гигиена и санитария / 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Экономика, 1983. – 191 с.
38. Методические вопросы управления научными проектами // Информационно-справочный портал поддержки систем управления качеством. – <http://www.quality.edu.ru/quality/met/493/> (дата обращения 16.04.2020)
39. Мешалкин В.П., Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. Компьютерная мультиагентная модель химико-физиологических процессов в желудочно-

кишечном тракте человека как живой биохимической системе // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 484. - № 3. – С. 303-306.

40. Муха В.С. Вычислительные методы и компьютерная алгебра: 2-е изд., испр. и доп. – Минск: БГУИР, 2010. – 148 с.

41. Нездоровая пища. – Электронный ресурс. – Режим доступа: [\[https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1058633\]](https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1058633)

42. Никитина М.А., Захаров А.Н., Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А. Цифровые технологии в оценке и анализе результатов дегустации пищевых продуктов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2018. – № 3. – С. 12-19.

43. Никитина М.А., Ивашкин Ю.А. Компьютерное проектирование оптимального рациона адекватного питания // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2014. – 4(63). – С. 121-123.

44. Никитина М.А., Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А., Захаров А.Н. Разработка программы для обработки дегустационных оценок профильно-дескрипторным методом // Все о мясе. – 2017. – № 6. – С. 34-36.

45. Никитина М.А., Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А., Захаров А.Н. Методологическое обеспечение и разработка программы обработки сенсорных данных, полученных с помощью профильно-дескрипторного анализа // Пищевая промышленность. – 2018. – № 5. – С. 68-73.

46. Никитина М.А., Лисицын А.Б., Захаров А.Н., Сусь Е.Б., Пилюгина С.А., Дыдыкин А.С., Устинова А.В. Пищевые продукты // Свидетельство о регистрации базы данных № 2015620557 от 30.03.2015 г.

47. Никитина М.А., Лисицын А.Б., Захаров А.Н., Сусь Е.Б., Устинова А.В., Дыдыкин А.С. Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015660124 от 22.09.2015

48. Никитина М.А., Лисицын А.Б., Кузнецова Т.Г., Лазарев А.А., Захаров А.Н. Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных:

свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017663406. – Москва: Роспатент, 2017.

49. Никитина М.А., Сусь Е.Б., Завгороднева Д.В. Информационные технологии в разработке многокомпонентных мясных продуктов с учетом биологической ценности // Все о мясе. – 2014. - № 4. – С. 48-51.

50. Никитина М.А., Чернуха И.М., Пчелкина В.А. Нейросетевые технологии в анализе гистологических препаратов // Контроль качества продукции. – 2019. – № 3. – С. 17-24.

51. Общество 5.0 – японский подход к цифровизации. Электронный ресурс. [Электронный ресурс: https://www.mitsubishielectric.ru/society/profile/files/Digitalization_Japanese%20approach%20_rus.pdf. Дата обращения 26.07.2019].

52. Перцева М. Нутригеномика: питание vs. заболевания. <https://biomolecula.ru/articles/nutrigenomika-pitanie-vs-zabolevaniia>.

53. Поленов С.А., Троицкая В.К., Вершинина Е.А. Регуляция процесса пищеварения: основные механизмы и их компьютерное моделирование // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. Приложение. – 2003. – № 4. – С. 25-39.

54. Пленарное заседание Международного конгресса по кибербезопасности. [Электронный ресурс: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/57957>. Дата обращения 26.07.2019].

55. Потемкина Н.С., Крутько В.Н., Мамиконова О.А. Питание как фактор устойчивого развития // Труды ИСА (институт системного анализа) РАН. 2009. Т. 42. С. 251-264.

56. Рогов И.А., Антипова Л.В., Дунченко Н.И. Химия пищи. – М: КолосС, 2007. – 853 с.

57. Рогов И.А., Жаринов А.И., Ивашкин Ю.А., Дунченко Н.И., Никитина М.А., Попова М.Ю., Купцова С.В. Проектирование комбинированных продуктов питания. – М: МГУПБ, 2005 – 45 с.

58. Рогов И.А., Забашта А.Г., Казюлин Г.П. Общая технология мяса и мясопродуктов. – М.: Колос, 2000. – 367с.

59. Розанцев Э.Г. Здоровье и современные принципы нормирования рационального питания // Мясная промышленность. – 1992. – № 3. – с. 8-13.

60. Россия 4.0: как подготовить страну к четвертой промышленной революции. [Электронный ресурс: <https://www.rbc.ru/opinions/economics/13/01/2017/5878d2389a79470077130332>. Дата обращения 26.07.2019].

61. Сидорко Н.К., Ковалева К.А., Косников С.Н. Оптимизация рационов питания человека для поддержания массы тела с учетом разных типов метаболизма // Научный журнал КубГАУ. – 2015. - № 105(01). – С. 492-504ю <http://ej.kubargo.ru/2015/01/pdf/029.pdf>

62. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/ (дата обращения: 16.05.2020).

63. Титов Е.И., Рогов И.А., Ивашкин Ю.А., Никитина М.А. и др. Экспертная система оптимизации состава продуктов и рациона питания: монография – М.: МГУПБ, 2009. – 124 с.

64. Тутельян В.А. Оптимальное питание как новая медицинская технология продления и повышения качества жизни // Вопросы питания – 2003. – №1. – С. 30-33.

65. Тутельян В.А., Мусина О.Н., Балыхин М.Г., Щетинин М.П., Никитюк Д.Б. Цифровая нутрициология: применение информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов. – Москва, Барнаул: АЗБУКА, 2020. – 378 с.

66. ТУ 9200-067-02068640-98 «Рационы школьного питания». – М.: Печатник, 1998. – 228 с.

67. Улумбекова Г.Э. Здоровье населения в Российской Федерации: факторы риска и роль здорового питания // Вопросы питания. 2010. Т. 79, № 2. С. 33-38.

68. УМК «Работа с ИАС «Аверс: Расчет меню питания» [Электронный ресурс: <http://www.avers-edu.ru/UMK/index0.html>. Дата обращения 22.04.2018]

69. Химический состав блюд и кулинарных изделий. Справочные таблицы основных пищевых веществ и энергетической ценности блюд и кулинарных изделий: В 2-х т. / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. Т.1. Ч. 1. – М.: ВИНТИ, 1994. – 205 с.

70. Чернуха И.М., Фокина А.И. Сравнительная оценка основных диет мира // Мясная индустрия. – 2019. - № 10. – С. 18-23.

71. Шмидт Б. Искусство моделирования и имитации. Введение в имитационную систему Simplex 3 [пер. на русский. язык.]. – Belgium: Chent, 2003. – 550 с.

72. Эксперты назвали самые нецифровизированные отрасли в России URL: https://rb.ru/news/undigital/?fbclid=IwAR02Klt2nMLOkYm-EANkpBGIRA6yTT3ara_NRjL72r32qWGA0Q62it2DiwU (дата обращения: 16.05.2020).

73. Юдина С.Б. Системный подход к созданию геродиетических продуктов / Мясная индустрия. – 1999. - № 2 – С. 18-19.

74. Юдина С.Б. Особенности производства геродиетических мясных продуктов

75. Adomavicius G., Sankaranarayanan R., Sen S., Tuzhilin A.S. Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach // ACM Transactions on Information Systems. – 2005. – Vol. 23(1). <https://doi.org/10.1145/1055709.1055714>

76. Adomavicius G., Tuzhilin A. Ch.7. Context-Aware Recommender Systems // In: Recommender Systems Handbook. Editors Ricci F., Rokach L., Shapira

B., Kantor P.B. – Boston: Springer, 2011. – pp. 217-253. ISBN 978-0-387-85819-7. DOI 10.1007/978-0-387-85820-3

77. Agu E., Claypool M. Cypress: A Cyber-Physical Recommender System to Discover SmartPhone Exergame Enjoyment // In: Proceedings of the ACM Workshop on Engendering Health with Recommender Systems. – 2016. - Boston, Massachusetts, USA. <http://132.199.138.79/healthrecsys/papers/paper4.pdf>

78. Bansal N. Prediabetes diagnosis and treatment: A review // World Journal of Diabetes. – 2015. – Vol. 6(2). – pp. 296-303. doi: 10.4239/wjd.v6.i2.296

79. Barrué C., Cortés A., Moreno J., Pérez-Pasalodos M., Cortés U. Using Multi-Agent Systems to mediate in an assistive social network for elder population // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. – 2015. – Vol. 277. – pp. 120-129. DOI: 10.3233/978-1-61499-578-4-120

80. Berendsen A., Santoro A., Pini E., Cevenini E., Ostan R. et al. A parallel randomized trial on the effect of a healthful diet on inflammaging and its consequences in European elderly people: design of the NU-AGE dietary intervention study // Mechanisms of Ageing and Development. -2013. – Vol. 134, Is. 11-12. – pp. 523-530. DOI: 10.1016 / j.mad.2013.10.002

81. Bergeron N., Williams P.T., Lamendella R., Faghihnia N., Grube A., Li X., Wang Z., Knight R., Jansson J.K., Hazen S.L., Krauss R.M. Diets high in resistant starch increase plasma levels of trimethylamine-N-oxide, a gut microbiome metabolite associated with CVD risk // British Journal of Nutrition. 2016. Vol. 116. Issue 12. PP. 2020-2029. DOI: 10.1017/S0007114516004165

82. Blaak E.E., Antoine J.-M., Benton D., Björck I., Bozzetto L., et. al. Impact of postprandial glycaemia on health and prevention of disease // Obesity Reviews. – 2012. – Vol. 13(10). – pp. 923-984. DOI: 10.1111/j.1467-789X.2012.01011.x

83. Bolland M.J., Grey A., Avenell A., Gamble G.D., Reid I.R. Calcium supplements with or without vitamin D and risk of cardiovascular events: Reanalysis of the Women's Health Initiative limited access dataset and meta-analysis// British Medical Journal. 2011. Vol. 342, Issue 7804. DOI: 10.1136/bmj.d2040

84. Bolton R.N., McColl-Kennedy J.R., Cheung L., Gallan A., Orsingher C., Witell L., Zaki M. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms // Journal of Service Management. – 2018. – Vol. 29 (5). – p. 766-808.

85. Cavalot F., Pagliarino A., Valle M., Di Martino L., et. al. Postprandial Blood Glucose Predicts Cardiovascular Events and All-Cause Mortality in Type 2 Diabetes in a 14-Year Follow-Up: lessons from the San Luigi Gonzaga Diabetes Study // Diabetes Care. – 2011. – Vol. 34(10). – pp. 2237-2243. – <https://doi.org/10.2337/dc10-2414>

86. Chan V., Ray P., Parameswaran N. Mobile e-health monitoring: An agent-based approach // IET Communications. – 2008. – Vol. 2 (2). – pp. 223-230. DOI: 10.1049/iet-com:20060646

87. Charles E., Stanley D., Agbaeze E. Knowledge-based diet and physical exercise advisory system // International Journal of Science and Research – 2013. – Vol. 14 (7). – pp. 2319-7064.

88. ChefExpert: Правильные документы для общепита [Электронный ресурс: <https://www.chefexpert.ru>. Дата обращения 22.04.2018]

89. Claessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. – 2012. – Vol. 8. – p. 7247-7260. DOI: 10.2514/6.2012-1818

90. Computer-aided Diagnosis: The Tipping Point for Digital Pathology. URL: <https://digitalpathologyassociation.org/blog/computer-aided-diagnosis-the-tipping-point-for-digital-pathology/>

91. Červenka L., Frühbauerová M., Velichová H. Functional properties of muffin as affected by substituting wheat flour with carob powder // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13 (1). – pp. 212-217. doi:<https://doi.org/10.5219/1033>

92. Dalmış M.U., Vreemann S., Kooi T., Mann R. M., Karssemeijer N., Gubern-Mérida A. Fully automated detection of breast cancer in screening MRI using convolutional neural networks // Journal of Medical Imaging. – 2018. – Vol. 5(1), 014502. doi:10.1117/1.JMI.5.1.014502
93. Dharia S., Jain V., Patel J., Vora J., Chawla S., Eirinaki M. PRO-Fit: A personalized fitness assistant framework // In: 28th international conference on software engineering and knowledge engineering, SEKE, Redwood City, CA. – 2016. <https://doi.org/10.18293/SEKE2016-174>
94. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Institute of Medicine. – Washington, DC: The National Academies Press, 2005. – 1358 p. ISBN: 978-0-309-08525-0. <https://doi.org/10.17226/10490>
95. DietPlan [Электронный ресурс: www.fore-soft.com. Дата обращения 05.06.2018].
96. Donciu M., Ionita M., Dascalu M., Trausan-Matu S. The runner–Recommender system of workout and nutrition for runners // In: 13th international symposium on symbolic and numeric algorithms for scientific computing, IEEE. – 2011. – pp. 230-238. <https://doi.org/10.1109/SYNASC.2011.18>
97. El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies // IEEE MultiMedia. – 2018. – Vol. 25 (2). – p. 87-92. DOI: 10.1109 / MMUL.2018.023121167
98. Elmadfa, I. Ernährung des Menschen / I. Elmadfa, C. Leitzmann // 6 überarb. und akt. - Ulmer. 6., überarb. und akt. - Utb GmbH, 2019. - 788 p. ISBN 978-3-8252-8748-1
99. Esme B., Sankur B., Anarim B. Facial feature extraction using genetic algorithms // 8-th European Signal Processing Conference. – 1996. – pp. 1511-1514.
100. Esteva A., Kuprel B., Novoa R.A, Ko J. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017. – Vol 542(7639). – pp. 115-118.

101. Faiz I., Mukhtar H., Khan S. An integrated approach of diet and exercise recommendations for diabetes patients // In: 2014 IEEE 16th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), Natal, 2014. - pp. 537-542. doi: 10.1109/HealthCom.2014.7001899.

102. Food and Agriculture Organization of the United Nations Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition 2013; paper 92. Rome (Italy)

103. Gaining health. The European Strategy for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases. WHO/Europe (World Health Organization. Regional office for Europe). Copenhagen, 2006. 60 p.

104. Gale W., Oakden-Rayner L., Carneiro G., Bradley A.P., Palmer L. J. Detecting hip fractures with radiologist-level performance using deep neural networks // 2017. arXiv: e-prints, November 2017.

105. Gallwitz B. Implications of Postprandial Glucose and Weight Control in People With Type 2 Diabetes. Understanding and implementing the International Diabetes Federation guidelines // American Diabetes Association Diabetes Care. – 2009. – Vol. 32(S2). – pp. S322-S325. <https://doi.org/10.2337/dc09-S331>

106. Gómez-Sebastià I., Moreno J., Álvarez-Napagao S. et al. Situated Agents and Humans in Social Interaction for Elderly Healthcare: From Coaalas to AVICENA // Journal of Medical Systems. – 2016. Vol. 40. – article number 38 <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0371-7>

107. Gotelli N.J. Entsminger N.J. Swap algorithms in null model analysis // Ecology. – 2003. – Vol. 84. – Pp. 532–535.

108. Grewal M., Srivastava M.M., Kumar P., Varadarajan S. Radnet: Radiologist level accuracy using deep learning for hemorrhage detection in ct scans // 2017. arXiv preprint arXiv:1710.04934.

109. Grundy S.M. Pre-Diabetes, Metabolic Syndrome, and Cardiovascular Risk // Journal of the American College of Cardiology. – 2012. – Vol. 59(7). – pp. 635-643. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.080>

110. Gulshan V., Peng L., Coram M., Stumpe M.C. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // *Jama*. – 2016. – Vol. 316(22). – pp. 2402-2410.
111. Harrington E.C.Jr. The desirability Function // *Industrial Quality Control*. – 1965. – Vol. 21 (10). – pp. 494–498.
112. Johnson R.A., Wichern D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. – New York: Prentice-Hall, 2007, 800 p.
113. Johnson A.J., Zheng J.J., Kang J.W., Saboe A., Knights D., Zivkovic A.M. A Guide to Diet-Microbiome Study Design // *Frontiers in Nutrition*. – 2020. – Vol. 7. – article 79. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00079>
114. Kim S.J., Moon W.K., Seong M.H., Cho N., Chang J.M. Computer-aided detection in digital mammography: false-positive marks and their reproducibility in negative mammograms // *Acta Radiol*. – 2009. – Vol. 50(9). – pp. 999-1004. doi: 10.3109/02841850903216700.
115. Koeth R., Wang Z., Levison B., Buffa J.A., Org F., et al. Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis // *Nature Medicine*. – 2013. – Vol. 19. – pp. 576–585. <https://doi.org/10.1038/nm.3145>
116. Köhler S., Doelken S.C., Mungall C.J., Bauer S., Firth H.V. et. al. The Human Phenotype Ontology project: linking molecular biology and disease through phenotype data // *Nucleic Acids Research*. – 2014. – Vol. 42 (D1). – pp. D966–D974. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1026>
117. Lamkin D.M., Spitz D.R., Shahzad M.M.K., Zimmerman B., Lenihan D.J., et. al. Glucose as a prognostic factor in ovarian carcinoma // *Cancer*. – 2009. – Vol. 115(5). – pp. 1021-1027. DOI: 10.1002/cncr.24126
118. Lawless H.T., Heymann H. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. – New York: Springer Science & Business Media, 2010, 596 p.

119. Leblanc, J.C. Nutritional intakes of vegetarian populations in France / J.C. Leblanc, H. Yoon, A. Kombadjian, P. Verger // *European Journal of Clinical Nutrition*. – 2000. - № 54(5). –pp. 443-449
120. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing system // *Manufacturing letters*. – 2015. – no. 3. – p. 18-23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001
121. Lee S.M., Chung S.-J., Lee O.-H., Lee H.-S., Kim Y.-K., Kim K.-O. Development of sample preparation, presentation procedure and sensory descriptive analysis of green tea // *Journal of Sensory Studies*. – 2008. – no. 23. – Pp. 450–467.
122. Lim T., Husain W., Zakaria N. Recommender system for personalised wellness therapy // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2013. – Vol. 4(9). –pp. 54-60.
123. Michael W. Grieves Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication // LLC. – 2014. – 7 p. <https://www.researchgate.net/publication/275211047>
124. Mitchell H.H. Comparative Nutrition of Man and Domestic Animals // New York – 1964. - vol. 2. - pp. 596-604.
125. Mitchell M.N. Strategically using General Purpose Statistics Packages: A Look at Stata, SAS and SPS. Technical Report Series 2005, no. 1. Statistical Consulting Group: UCLA Academic Technology Services URL: http://www.ats.ucla.edu/stat/technical-reports/umber1_editedFeb_2_2007/ucla_ATSstat_trl_1.1_0207.pdf. (Accessed 08.09.2018).
126. Mitchell H.H., Block R.I. Some relationships between amino acid contents of proteins and their nutritional value for the rat // *Journal of Biological Chemistry*. – 1946. – 163. – pp. 599-617.
127. Moore M. What is Industry 4.0? Everything you need to know // *TechRadar*. – 2019.
128. Neal E.G., Chaffe H., Schwartz R.H., Lawson M.S., Edwards N., Fitzsimmons G., Whitney A., Cross J.H. The ketogenic diet for the treatment of

childhood epilepsy: a randomised controlled trial // *Lancet Neurology*. – 2008. – Vol. 7, Is. 6. – pp. 500-506. DOI: 10.1016 / S1474-4422 (08) 70092-9

129. Nelson K.M., Reiber G., Boyko E.J. Diet and exercise among adults with type 2 diabetes: findings from the third national health and nutrition examination survey (NHANES III) // *Diabetes Care*. – 2002. – Vol. 25, Is. 10. pp. 1722-1728. DOI: 10.2337 / diacare.25.10.1722

130. Nikitina M.A., Chernukha I.M., Nurmukhanbetova D.E. Principal approaches to design and optimization of a diet for targeted consumer groups // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. – 2019. – Vol. 1(433). – pp. 231-241.

131. Nikitina M.A., Chernukha I.M. Multi-criteria optimization of a product recipe composition // *Theory and practice of meat processing*. – 2018. – Vol. 3(3). – pp. 89-98. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98

132. Nikitina M.A., Chernukha I.M., Pchelkina V.A. (2019). Artificial neural network technologies as a tool to histological preparation analysis // 60th International meat industry conference, MEATCON 2019. – 2019. – number article 012087.

133. Nikitina M.A., Ivashkin Yu.A. Expert system of food sensory evaluation for mobile and tablet // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2019. – Vol. 2416. – pp. 332-339.

134. Nishida T., Tsuji S., Tsujii M., Arimitsu S., Haruna Y. et. al. Oral glucose tolerance test predicts prognosis of patients with liver cirrhosis // *American Journal of Gastroenterology*. – 2006. – Vol. 101(1). – pp. 70-75. DOI: 10.1111/j.1572-0241.2005.00307.x

135. Noakes M., Keogh J.B., Foster P.R., Clifton P.M. Effect of an energy-restricted, high-protein, low-fat diet relative to a conventional high-carbohydrate, low-fat diet on weight loss, body composition, nutritional status, and markers of cardiovascular health in obese women // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2005. – Vol. 81(6). – pp. 1298-1306. DOI: 10.1093 / ajcn / 81.6.1298

136. NUTNutritionSoftware [http://nut.sourceforge.net. Дата обращения 05.06.2018].
137. Nutrition Surveysand Calculations [Электронный ресурс: http://nutrisurvey.de/. Дата обращения 05.06.2018].
138. Ordovas J.M., Ferguson L.R., Tai E.S., Mathers J.C. Personalised nutrition and health // BMJ. – 2018. – Vol. 361. bmj k2173. doi: 10.1136/bmj.k2173
139. Oser B.L.J. Method for integrating essential amino acid content in nutritional evaluation of proteins // Journal of the American Dietetic Association. – 1951. – 27. – pp. 396-402.
140. Palazzetti V., Guidi F., Ottaviani L., Valeri G., Baldassarre S., Giuseppetti G.M. Analysis of mammographic diagnostic errors in breast clinic // La radiologia medica. – 2016. – Vol. 121(11). – pp. 828–833. DOI 10.1007/s11547-016-0655-0.
141. Patefield W.M. Algorithm AS 159. An efficient method of generating $r \times c$ tables with given row and column totals / Applied Statistics. – 1981. – Vol. 30. – no 1. – Pp. 91–97.
142. Piggott J.R., Hunter E.A. Review: Evaluation of assessor performance in sensory analysis / Italian Journal of Food Science. – 1999. – no. 4(11). – Pp. 289–303.
143. Poplin R., Varadarajan A.V., Blumer K., Liu Y., McConnell M.V., Corrado G.S., Peng L., Webster D.R. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning // Nature Biomedical Engineering. – 2018. – no. 2. – pp.158–164. doi: 10.1038/s41551-018-0195-0.
144. Powell A.C., Landman A.B., Bates D.W. In search of a few good apps // JAMA - Journal of the American Medical Association. – 2014. – Vol. 311(18). – pp. 1851-1852. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.2564>
145. Prevention or Delay of Type 2 Diabetes // American Diabetes Association Diabetes Care. – 2015. – Vol. 38(S1). – pp. S31-S32. <https://doi.org/10.2337/dc15-S008>

146. Rahman J., Noronha A., Thiele I., Rahman S. Leigh map: A novel computational diagnostic resource for mitochondrial disease // *Annals of Neurology*. – 2017. – Vol. 81 (1). – pp. 9-16. doi: 10.1002/ana.24835.
147. Rajpurkar P., Hannun A.Y, Haghpanahi M., Bourn C. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks // 2017. arXiv preprint arXiv:1707.01836.
148. Rajpurkar P., Irvin J., Bagul A., Ding D., Duan T., Mehta H., Yang B., Zhu K., Laird D., Ball R.L., Langlotz C., Shpanskaya K., Lungren M.P., Ng A. Y. MURA: Large Dataset for Abnormality Detection in Musculoskeletal Radiographs // 2018. – arXiv:1712.06957v4 22 May 2018
149. Rajpurkar P., Irvin J., Zhu K., Yang B. et al. Chexnet: Radiologist-level pneumonia detection on chest x-rays with deep learning // 2017. arXiv preprint arXiv:1711.05225
150. Rekdal V.M., Bess E.N., Bisanz J.E., Turnbaugh P.J., Balsku E.P. Discovery and inhibition of an interspecies gut bacterial pathway for Levodopa metabolism // *Science*. – 2019. – Vol. 364(6445). – eaau6323. DOI: 10.1126/science.aau6323
151. Riccardi G., Rivellese A.A. Dietary treatment of the metabolic syndrome – the optimal diet // *British Journal of Nutrition*. – 2000. – Vol. 83(S1). – pp. S143-S.148. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114500001082>
152. Rust, P. Österreichischer Ernährungsbericht / P. Rust, V. Hasenegger, J. König. – Wien: Department für Ernährungswissenschaften Universität Wien, 2017. – 169 p. ISBN 978-3-903099-32-6
153. Sahoo S., Franzson L., Jonsson J.J., Thiele I. A compendium of inborn errors of metabolism mapped onto the human metabolic network // *Molecular BioSystem*. – 2012. – Vol. 8. – pp. 2545–2558. <https://doi.org/10.1039/C2MB25075F>
154. Sami A., Nagatomi R., Terabe M., Hashimoto K. Design of physical activity recommendation system // In *MCCSIS'08 - IADIS Multi Conference on*

Computer Science and Information Systems; Proceedings of Informatics 2008 and Data Mining 2008. - pp. 148-152.

155. Sheldon W.H. Atlas of Men Guide for Somototyping the Adult Male At all Ages. – Gramercy Publishing Company, 1954. – 357 p.

156. Sheldon W.H., Stevens S.S., Tucker W.B. The Varieties of Human Physique. An Introduction to Constitutional Psychology. – New York: Harper&Brothers Publishers, 1940. – 347 p.

157. Sherman H.C. The Protein Requirement of Maintenance in Man // PNAS. – 1920. – Vol. 6 (1). – pp. 38-40. <https://doi.org/10.1073/pnas.6.1.38>

158. Seo D.-O., Holtzman D.M. Gut Microbiota: From the Forgotten Organ to a Potential Key Player in the Pathology of Alzheimer's Disease // The Journals of Gerontology: Series A. – 2020. – Vol. 75(7). – pp. 1232–1241, <https://doi.org/10.1093/gerona/glz262>

159. Schmidt B. The Art of Modelling and Simulation. – SCS-Europe BVBA, Chent: Belgium, 2001. – 480 p

160. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – Ginebra: World Economic Forum, 2016. – 172 p.

161. Söderberg R., Wärmefjord K., Carlson J.S., Lindkvist L. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production // CIRP Annals. – 2017. – Vol. 66 (1). – p. 137-140. DOI: 10.1016 / j.cirp.2017.04.038

162. Ståhle L., Wold S. Multivariate analysis of variance (MANOVA) // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. – 1990. – no. 9. – Pp. 127–141.

163. Tao F., Sui F., Liu A., Qi Q., Zhang M., Song B., Guo Z., Lu S. C.-Y., Nee A.Y.C. Digital twin-driven product design framework // International Journal of Production Research. – 2018. – Vol. 2. – pp. 1-19. DOI: 10.1080/00207543.2018.1443229

164. The Human Phenotype Ontology. – Электронный ресурс. – Режим доступа: [<https://hpo.jax.org/app/>].

165. The NutriBase 18 Professional Plus Software [Электронный ресурс: <http://www.nutribase.com/>. Дата обращения 05.06.2018].
166. Thorning T.K., Raziani F., Bendsen N.T., Astrup A., Tholstrup T., Raben A. Diets with high-fat cheese, high-fat meat, or carbohydrate on cardiovascular risk markers in overweight postmenopausal women: A randomized crossover trial // *American Journal of Clinical Nutrition*. 2015. Vol. 102. Issue 3. PP. 573-581. DOI: 10.3945/ajcn.115.109116
167. Tomic O., Forde C., Delahunty C., Næs T. Performance indices in descriptive sensory analysis – A complimentary screening tool for assessor and panel performance // *Food Quality and Preference*. – 2013. – no. 28(1). – Pp. 122–133.
168. Verbert K., Manouselis N., Ochoa X. Context-aware recommender systems for learning: A survey and future challenges // In: *IEEE Transactions on learning technologies*. – 2012. – Vol. 5(4). – pp. 318-355.
169. Waldmann A., Koschizke J.W., Leitzmann C., Hahn A. Dietary intakes and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study // *European Journal of Clinical Nutrition* volume. – 2003. Vol. 57, Is. 8. – pp. 947-955. DOI: 10.1038 / sj.ejcn.1601629
170. Wang Z., Klipfell E., Bennett B.J., Koeth R., Levison B.S., et al. Gut flora metabolism of phosphatidylcholine promotes cardiovascular disease // *Nature*. – 2011. – Vol. 472. – pp. 57–63. <https://doi.org/10.1038/nature09922>
171. Willett W.C., Sacks F., Trichopoulou A., Drescher G., Ferro-Luzzi A., Helsing E., Trichopoulos D. Mediterranean diet pyramid: a cultural model for healthy eating // *The American Journal Clinical Nutrition* – 1995. – Vol. 61, Is. 6. – pp. 1402S–1406S. DOI: 10.1093 / ajcn / 61.6.1402S
172. Wolfe R.R., Cifelli A.M., Kostas G., Kim I.-Y. Optimizing Protein Intake in Adults: Interpretation and Application of the Recommended Dietary Allowance Compared with the Acceptable Macronutrient Distribution Range // *Advances in Nutrition*. – 2017. – Vol. 8(2). – pp. 266–275. <https://doi.org/10.3945/an.116.013821>

173. Wolfe R.R., Rutherfurd S.M., Kim I.-Y., Moughan P.J. Protein quality as determined by the Digestible Indispensable Amino Acid Score: evaluation of factors underlying the calculation // Nutrition Reviews. – 2016. – Vol. 74(9). – pp. 584–599. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw022>
174. Wuttidittachotti P., Robmeechai S., Daengsi T. mHealth: A Design of an Exercise Recommendation System for the Android Operating System // Walailak Journal of Science and Technology (WJST). – 2014. – Vol. 12(1). – pp. 63-82. <http://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/923>
175. Zeevi D., Korem T., Zmora N., Israeli D., Rothschild D., et. al. Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses // Cell. – 2015. – Vol. 163(5). – pp. 1079-1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>
176. Zmora N., Suez J., Elinav E. You are what you eat: diet, health and the gut microbiota // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. – 2019. – Vol. 16. – pp. 35–56. <https://doi.org/10.1038/s41575-018-0061-2>

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А – ПАТЕНТ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(19) RU⁽¹¹⁾

2536952⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
A23J1/20 (2006.01)
A23J3/08 (2006.01)

Статус: по данным на 27.01.2015 - действует
Пошлина:

(21), (22) Заявка: 2013126936/10, 13.06.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.06.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.06.2013

(45) Опубликовано: 27.12.2014

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2366294 C1 27.06.2002г. ЛЕПИХИНА О.Е. и др., Влияние технологических факторов производства молочных продуктов на нативность биологически активных белков комплекса катионные белки молока + куриный лизоцим, Хранение и переработка сельхозсырья N5, 2008, с.40-42. СЕМЕНОВ Г.В. и др., Сохранность термолабильных БАД на основе ферментных защитных системмолока, Молочная промышленность N1, 2008, с.82-83. ПРОСЕКОВ А.Ю. и др., Молочный белок как наночастица с заданными свойствами, Молочная промышленность N4, 2008, с.71-72. RU 2188935 C2 27.06.2002

Адрес для переписки:

125080, Москва, Волоколамское ш., 11, ФГБОУ
ВПО "Московский государственный университет
пищевых производств", Отдел патентно-
лицензионной работы

(72) Автор(ы):

Тихомирова Наталья Александровна (RU),
Титова Мария Евгеньевна (RU),
Никитина Марина Александровна (RU),
Астраханцев Александр Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный университет
пищевых производств" (RU)

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к биотехнологической, в частности к молочной, промышленности. Продукт получают путем сухого смешивания сухих компонентов в следующем составе: концентрат альбумина сыворотки крови убойных животных, сухое обезжиренное молоко, и/или сухая подсырная деминерализованная сыворотка, или ультрафильтрационный концентрат сывороточных белков молока, концентрат низкомолекулярных катионных сывороточных белков молока в сочетании с куриным лизоцимом или куриный лизоцим, источник йода в составе белковой добавки. Последующее измельчение смеси на планетарной шаровой мельнице при скорости 600 об/мин в течение 11±1 мин при температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C до получения наноразмерных частиц модуля в диапазоне от 20 нм до 80 нм. Внесение витаминно-минерального премикса и перемешивание на барабанном смесителе периодического действия. Изобретение обеспечивает получение продукта с функциональными свойствами, такими как повышенная биологическая ценность, антиоксидантные свойства, иммуномодулирующие и иммуностимулирующие свойства, с хорошей растворимостью, термостабильностью и повышенной усвояемостью. 3 ил., 3 пр.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 536 952** (13) **C1**

(51) МПК
A23J 1/20 (2006.01)
A23J 3/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013126936/10, 13.06.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.06.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.06.2013

(45) Опубликовано: 27.12.2014 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2366294 C1 27.06.2002г.
ЛЕПИХИНА О.Е. и др., Влияние
технологических факторов производства
молочных продуктов на нативность
биологически активных белков комплекса
катионные белки молока + куриный
лизозим, Хранение и переработка
сельхозсырья N5, 2008, с.40-42. СЕМЕНОВ
Г.В. и др., Сохранность термолабильных
БАД на основе ферментных защитных
систем (см. прод.)

Адрес для переписки:

125080, Москва, Волоколамское ш., 11, ФГБОУ
ВПО "Московский государственный
университет пищевых производств", Отдел
патентно-лицензионной работы

(72) Автор(ы):

Тихомирова Наталья Александровна (RU),
Титова Мария Евгеньевна (RU),
Никитина Марина Александровна (RU),
Астраханцев Александр Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный университет
пищевых производств" (RU)

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к биотехнологической,
в частности к молочной, промышленности.
Продукт получают путем сухого смешивания
сухих компонентов в следующем составе:
концентрат альбумина сыворотки крови убойных
животных, сухое обезжиренное молоко, и/или
сухая подсырная деминерализованная сыворотка,
или ультрафильтрационный концентрат
сывороточных белков молока, концентрат
низкомолекулярных катионных сывороточных
белков молока в сочетании с куриным лизоцимом
или куриный лизоцим, источник йода в составе
белковой добавки. Последующее измельчение
смеси на планетарной шаровой мельнице при

скорости 600 об/мин в течение 11 ± 1 мин при
температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C
до получения наноразмерных частиц модуля в
диапазоне от 20 нм до 80 нм. Внесение витаминно-
минерального премикса и перемешивание на
барабанном смесителе периодического действия.
Изобретение обеспечивает получение продукта
с функциональными свойствами, такими как
повышенная биологическая ценность,
антиоксидантные свойства,
иммуномодулирующие и иммуностимулирующие
свойства, с хорошей растворимостью,
термостабильностью и повышенной
усвояемостью. 3 ил., 3 пр.

Стр.: 1

RU 2 536 952 C1

RU 2 536 952 C1

(56) (продолжение):

молока, Молочная промышленность N1, 2008, с.82-83. ПРОСЕКОВ А.Ю. и др., Молочный белок как наночастица с заданными свойствами, Молочная промышленность N4, 2008, с.71-72. RU 2188935 C2 27.06.2002

RU 2 5 3 6 9 5 2 C 1

RU 2 5 3 6 9 5 2 C 1

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 536 952** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
A23J 1/20 (2006.01)
A23J 3/08 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013126936/10, 13.06.2013

(24) Effective date for property rights:
13.06.2013

Priority:

(22) Date of filing: 13.06.2013

(45) Date of publication: 27.12.2014 Bull. № 36

Mail address:

125080, Moskva, Volokolamskoe sh., 11, FGBOU
VPO "Moskovskij gosudarstvennyj universitet
pishchevykh proizvodstv", Otdel patentno-
litsenzionnoj raboty

(72) Inventor(s):

Tikhomirova Natal'ja Aleksandrovna (RU),
Titova Marija Evgen'evna (RU),
Nikitina Marina Aleksandrovna (RU),
Astrakhantsev Aleksandr Alekseevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij
gosudarstvennyj universitet pishchevykh
proizvodstv" (RU)

(54) **FUNCTIONAL PRODUCT MANUFACTURE METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: food industry.

SUBSTANCE: invention relates to the biotechnological, in particular, dairy industry. The product is manufactured by way of mixing dry components comprising as follows: a slaughter animals' blood serum albumin concentrate, dry defatted milk and/or demineralised dry cheese whey or an ultrafiltration concentrate of whey milk protein, a concentrate of low-molecular cationic whey milk proteins together with chicken lysozyme or the chicken lysozyme, a iodine source in the protein additive composition. One performs the mixture subsequent milling using a planetary ball mill at a rate of 600 rpm

during 11 ± 1 minutes at a temperature of the mixture milled equal to 30 - 40°C till the obtainment of nano-sized module particles within the range of 20 nm - 80 nm. One performs the vitamin-and-mineral premix introduction and stirring using a batch drum mixing machine.

EFFECT: invention ensures the manufacture of a product with functional properties such as an increased biological value, antioxidant properties, immunomodulating and immunostimulating properties with good solubility, thermostability and enhanced accessibility.

3 dwg, 3 ex

Изобретение относится к биотехнологии, в частности к молочной промышленности и производству продуктов специального назначения на молочной основе.

При производстве продуктов специального назначения на молочной основе известны составы продуктов, включающие в себя сывороточные белки молока, а также различные витаминно-минеральные премиксы [Автореферат «Разработка технологии специализированного высокобелкового продукта для питания спортсменов», Мироедов Р.Ю., Москва, 2008]. Известны сухие композитные смеси: сухая белковая смесь «ДИСО», производства Нутринор, содержащая в своем составе концентрат сывороточного белка молока (КСБ), лецитин, полиненасыщенные жирные кислоты, мальтодекстрин, пищевые волокна, [Перспектив Межрегионального центра клинического питания, ДИСО® Нутринор, www.mckp.biz]; сухой молочный белково-минеральный модуль, содержащий белковый компонент, минеральные соли, воду при следующем соотношении, масс. %: КМБ - от 76,0 до 93,0; минеральные соли - от 3,0 до 20,0; вода - остальное [Пат. №92001191 (Россия)]. Белково-минеральные модули и способ их получения / Высоцкий В.Г., Круглик В.И., Сажин Г.Ю., Щацкая Н.Г.]. Данные смеси хороши тем, что имеют сухую форму, которая делает универсальными их технологические свойства. Однако представленные смеси содержат в своем составе небольшое количество биологически ценных компонентов, что снижает их функциональные свойства.

Известны молочные белковые продукты, готовые к употреблению. Они представлены в виде напитков, таких как белковый жидкий продукт «Нутридринк» для питания людей с повышенными потребностями в белке, энергии, витаминах, содержащий 6% молочного белка; 5,8% жиров; 18,4% углеводов; витамины (А, В, С, D, Е) и минералы (К, Na, Са, Р, Mg и др.), каротиноиды (0,3 мг) [Нутридринк, Свидетельство государственной регистрации ООО «Нутриция», www.nutricia-medical.ru]; а также продукт молочный стерилизованный «Спортивный», в состав которого входят КСБ, гидролизат сывороточного белка, цельный молочный белок, мальтодекстрин, фруктово-ягодные сиропы, растительные масла, минеральные вещества (Fe, Zn, Na, Cu, Mn), витамины (А, D, К, С, РР, группы В), [Продукт для спортивного питания школьников. Симоненко С.В., Хованова И.В., Лесь Г.М. // Молочная промышленность, №5, 2010. Стр.55-56]. Представленные продукты имеют богатый состав функциональных нутриентов, однако они имеют узкую направленность, имеют целевого потребителя. Также жидкая форма выпуска продуктов не позволяет им быть универсальными.

Известны биологически активные добавки: БАД на основе молочного белка, обогащенные йодом, такие как БАД к пище для улучшения репродукции человека, содержащая гидролизат сывороточного белка, БАД «Йод-казеин», нуклеотиды, аргинин, цистеин, тирозин, триптофан, карнитин, таурин, лецитин, инозит, лизоцим, порошок клубней топинамбура, порошок скорлупы куриного яйца или гидроксиапатита, витамин D₃, липоевую кислоту БАД «Веторон-ТК», БАД «Селен ЕС», БАД «Гемобин» и молочный жир «Бетапол» 45 [Пат. №2262867 (Россия) БАД к пище для улучшения репродукции человека (варианты) / Катков Ю.А.], а также БАД к пище «Йод-актив» (Способ получения йодированного белка (RU C1 №2188648, МПК 7 А61К 33/18, 2002) и средство для регулирования йодного обмена или профилактики йоддефицитных состояний (RU C1 №2151611, МПК 7 А61К 38/16, 2000), где йодировать белок предлагают добавлением к раствору белка йодирующего агента - хлористого йода, растворенного в соляной либо уксусной кислоте). Полученное средство отличается тем, что оно содержит йодированный белок или его низкомолекулярный компонент, в состав структуры которых входит, по крайней мере, одна из следующих аминокислот - фенилаланин, триптофан. В частном случае предлагают использовать его для

йодирования молочного белка - казеина. Однако данные биологически активные добавки имеют узкую функциональную направленность, а также плохо растворимы в молоке и молочном сырье, термолабильны и нетехнологичны, поэтому их сложно использовать в промышленном производстве молочных продуктов.

- 5 К числу современных относятся добавки из молочных белков, а также молочные белки в сочетании с куриным лизоцимом, среди которых способ получения биологически активной добавки «Милканг», включающей ангиогенин, лизоцим, панкреатическую РНКазу и полипептиды [Пат. №2183935 (Россия). Способ получения биологически активной добавки «Милканг» и полученная этим способом БАД «Милканг» / Рогов
- 10 И.А., Титов Е.И., Шалыгина А.М., Тихомирова Н.А., Комолова Г.С., Рогов С.И.]; способ получения БАД из низкомолекулярных катионных белков молока и полученная этим способом БАД [Пат. №2318406 (Россия). Способ получения БАД из
- 15 низкомолекулярных катионных белков молока и полученная этим способом БАД / Рогов И.А., Титов Е.И., Семенов Г.В., Тихомирова Н.А., Комолова Г.С., Ионова И.И., Лепихина О.Е.]. Известен способ получения биологически активной добавки «Мобелиз» и полученная этим способом БАД «Мобелиз». [Пат. №2366294 (Россия) Способ
- 20 получения биологически активной добавки «Мобелиз» и полученная этим способом БАД «Мобелиз» / Семенов Г.В., Тихомирова Н.А., Комолова Г.С., Овчинникова О.Е.]. Биологически активная добавка к пище содержит лактопероксидазу, лактоферрин,
- 25 ангиогенин, панкреатическую РНКазу, лизоцим молочный и куриный лизоцим при определенном соотношении компонентов. Данный способ является прототипом.

Таким образом, в результате патентного и литературного поиска установлено, что разработка новых составов и способов производства функциональных продуктов питания является актуальной задачей, а использование белкового сырья в виде новых

25 биологически активных препаратов находит широкое применение не только в качестве отдельных модулей, но и в составе функциональных продуктов питания как в отечественной, так и в зарубежной практике.

Задачей, на решение которой направлено настоящее изобретение, является разработка способа получения и состава функционального продукта питания на основе

30 сывороточного белкового концентрата, низкомолекулярных сывороточных белков, белков мясного происхождения, белковых добавок, обогащенных йодом и антиоксидантами природного происхождения, который может непосредственно использоваться в питании, а также может быть основой в рецептуре продуктов функционального питания.

- 35 Это достигается возможностью варьирования состава, комплексным использованием биологически активных белков молока, мясных белков, куриного лизоцима и обогащением витаминами, а также комплексным использованием наноразмерных частиц.

- Согласно изобретению в качестве сырья используется готовый концентрат
- 40 сывороточных белков, комплекс низкомолекулярных белков молока (ангиогенин, лизоцим, полипептиды, лактоферрин), мясные белки (сухая кровь), куриный лизоцим, витаминно-минеральный премикс. Данный набор биологически активных компонентов обуславливает широкие функциональные свойства полученного белкового модуля, такие как повышенная биологическая ценность, иммуностимулирующее действие, а
- 45 также антиоксидантные свойства. В качестве обогащения модуля микроэлементом йодом, необходимым элементом в рационе питания детей школьного возраста, был выбран источник йода в составе комплексной добавки, такой как препарат промышленного производства Йод-актив, Йод-казеин или Био-йод. Данные препараты

состоят из комплекса молочного белка и йода, широко доступны и удобны в использовании. Все входящие в состав модуля компоненты обладают функционально-технологическими свойствами, которые обуславливают их технологичность - хорошая растворимость, термостабильность, а также повышенная усвояемость, что делает их использование в составе белкового модуля рациональным. Результаты проведенного скрининга состава и свойств разработанного белкового модуля дают основания утверждать, что комплексное использование компонентов модуля сохраняет их функционально-технологические свойства.

Так, были проведены исследования по изучению антиоксидантной активности белкового модуля. Доказанное антиоксидантное действие белкового модуля подтверждено результатами экспериментов *in vivo* на лабораторных животных и *in vitro* на модельных системах. О проявлении антиоксидантной активности белкового модуля *in vivo* свидетельствуют достоверно полученные данные в опытах с крысами ювенального возраста при включении модуля в рацион их питания. Ранний период адаптации лабораторных животных сопровождается стрессом, который, как известно, характеризуется повышенным образованием в их организме активных форм кислорода. Как следует из приведенных на рис. 1а данных, концентрация продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в крови лабораторных животных из опытной группы более чем на 20% ($p < 0,05$) ниже, чем у животных контрольной группы. Результаты по определению ПОЛ в модельной системе окисления липидов в зависимости от дозы белкового модуля представлены на рис. 1б. Уровень продуктов ПОЛ анализировали по тесту с тиобарбитуровой кислотой (ТБК).

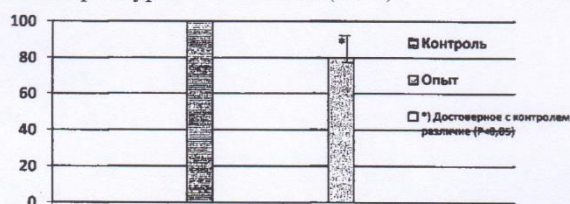


Рис. 1а – Содержание продуктов ПОЛ в сыворотке крови крыс: контроль – лабораторные животные находились на виварной диете; опыт – лабораторные животные получали белковый модуль в количестве 0,6 мг/г массы тела дополнительно к виварному рациону.

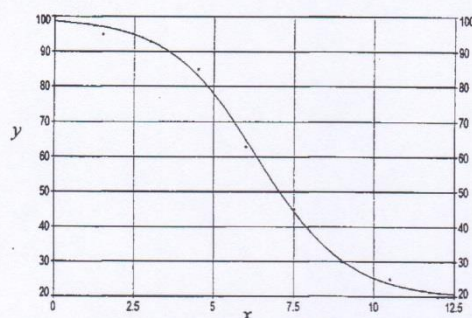


Рис. 1б – Зависимость содержания продуктов ПОЛ в модельной системе от дозы белкового модуля, при $p < 0,80$.

Таким образом, белковый модуль достоверно оказывает антиоксидантное действие в опытных системах и, следовательно, может рассматриваться как фактор, способный регулировать интенсивность окисления липидов. В связи с этим можно полагать, что,

наряду с механизмом, обусловленным связыванием компонентами белкового модуля ионов металлов, ответственных за возникновение активных форм кислорода, следует учитывать и антистрессовую активность белкового модуля.

Исследования переваримости *in vitro* белкового модуля до и после измельчения. Результаты исследований представлены на диаграмме (рис.2).

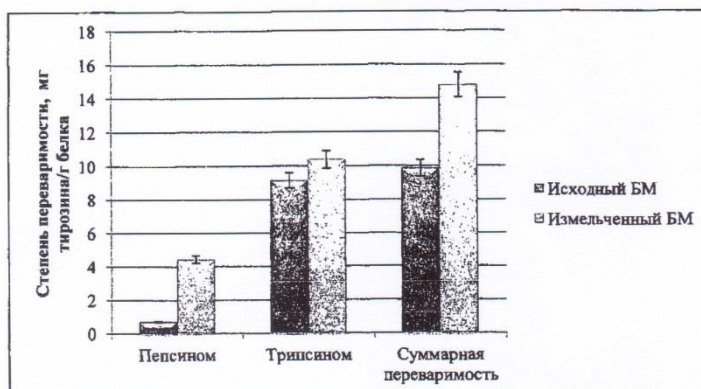


Рисунок 2 – Диаграмма переваримости *in vitro* белкового модуля до и после измельчения

Из диаграммы видно, что атакуемость ферментами в желудке после измельчения увеличивается более чем в 6 раз, в отделе кишечника под действием трипсина переваримость увеличивается на 10,43%, что приводит к увеличению суммарной степени переваримости (на 47,21%), это можно объяснить тем, что доступность ферментов к белкам увеличивается.

Расчетным путем определяли биологическую ценность и аминокислотный скор разработанного белкового модуля в сравнении с сухим обезжиренным молоком, который был взят за контроль. Из полученных данных следует, что аминокислотный скор белкового модуля выше в 5..7 раз аминокислотного сора контроля.

Сухая форма выпуска белкового модуля позволяет ему быть универсальным при употреблении как самостоятельного продукта, так и в составе функциональных продуктов питания в качестве функционального ингредиента.

Для повышения биодоступности биологически активных компонентов и для улучшения усвояемости белковый модуль измельчают на планетарной шаровой мельнице. В результате исследований авторами отработаны оптимальные режимы измельчения, при которых не допускается нагревание образца выше 40°C, что исключает денатурацию термолабильных белков. Подобраны оптимальные скорость измельчения (от 600 до 700 об/мин) и время измельчения от 10 до 20 мин, а также условия периодического охлаждения образца для поддержания необходимой температуры. В результате измельчения получили белковый модуль с наноразмерными частицами. Размер частиц определяли с помощью сканирующего зондового микроскопа Солвер Некст™ («NT-MDT», Россия). Полученные результаты наглядно иллюстрируют уменьшение размера частиц после измельчения от 20 до 80 нм, что входит в установленный диапазон наноразмеров (до 100 нм).

Пример 1. По первому способу производства функциональный продукт - белковый модуль, полученный путем сухого смешивания сухих компонентов в следующем составе и количестве: концентрат альбумина сыворотки крови убойных животных 0,05 г, сухое обезжиренное молоко 91,28 г, сухая подсырная деминерализованная сыворотка 8,5 г,

концентрат низкомолекулярных катионных сывороточных белков молока 0,06 г, куриный лизоцим 0,05 г, источник йода - Йод-казеин 0,03 г; с последующим измельчением на планетарной шаровой мельнице при скорости 600 об/мин в течение 11 ± 1 мин при температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C до получения наноразмерных частиц модуля в диапазоне от 20 нм до 80 нм; после чего в него вносится витаминно-минеральный премикс в количестве 0,03 г и перемешивается на барабанном смесителе периодического действия.

Пример 2. По второму способу производства функциональный продукт - белковый модуль, полученный путем сухого смешивания сухих компонентов в следующем составе и количестве: концентрат альбумина сыворотки крови убойных животных 0,09 г, сухая подсырная деминерализованная сыворотка 99,78 г, концентрат низкомолекулярных катионных сывороточных белков молока в сочетании с куриным лизоцимом 0,07 г, источник йода - Йод-актив 0,03 г; с последующим измельчением на планетарной шаровой мельнице при скорости 650 об/мин в течение 16 ± 1 мин при температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C до получения наноразмерных частиц модуля в диапазоне от 20 нм до 80 нм; после чего в него вносится витаминно-минеральный премикс в количестве 0,03 г и перемешивается на барабанном смесителе периодического действия.

Пример 3. По третьему способу производства функциональный продукт - белковый модуль, полученный путем сухого смешивания сухих компонентов в следующем составе и количестве: концентрат альбумина сыворотки крови убойных животных 0,04 г, сухое обезжиренное молоко 79,83 г, ультрафильтрационный концентрат сывороточных белков молока 20 г, концентрат низкомолекулярных катионных сывороточных белков молока 0,02 г, куриный лизоцим 0,05 г, источник йода - Био-йод 0,03 г; с последующим измельчением на планетарной шаровой мельнице при скорости 700 об/мин в течение 19 ± 1 мин при температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C до получения наноразмерных частиц модуля в диапазоне от 20 нм до 80 нм; после чего в него вносится витаминно-минеральный премикс в количестве 0,03 г и перемешивается на барабанном смесителе периодического действия.

Формула изобретения

Способ производства функционального продукта в виде белкового модуля, полученного путем сухого смешивания сухих компонентов в следующем составе: концентрат альбумина сыворотки крови убойных животных, сухое обезжиренное молоко, и/или сухая подсырная деминерализованная сыворотка, или ультрафильтрационный концентрат сывороточных белков молока, концентрат низкомолекулярных катионных сывороточных белков молока в сочетании с куриным лизоцимом или куриный лизоцим, источник йода в составе белковой добавки; с последующим измельчением на планетарной шаровой мельнице при скорости 600 об/мин в течение 11 ± 1 мин при температуре измельчаемой смеси от 30 до 40°C до получения наноразмерных частиц модуля в диапазоне от 20 нм до 80 нм; после чего в него вносится витаминно-минеральный премикс и перемешивается на барабанном смесителе периодического действия.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2015620557

«Пищевые продукты»

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова» (RU)**

Авторы: **Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU), Сусь Егор Борисович (RU), Пилюгина Светлана Алексеевна (RU), Дыдыкин Андрей Сергеевич (RU), Устинова Александра Васильевна (RU)**



Заявка № 2015620089

Дата поступления 12 февраля 2015 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 30 марта 2015 г.

Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства): 2015620557	Авторы: Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU), Сусь Егор Борисович (RU), Пилюгина Светлана Алексеевна (RU), Дыдыкин Андрей Сергеевич (RU), Устинова Александра Васильевна (RU)
Дата регистрации: 30.03.2015	
Номер и дата поступления заявки: 2015620089 12.02.2015	
Дата публикации: 20.04.2015	
Контактные реквизиты: +7-495-676-92-14	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова» (RU)

Название базы данных:
«Пищевые продукты»

Реферат:

База данных содержит информацию о химическом составе наиболее важных пищевых продуктах: влажности, содержания общего белка, аминокислотного состава белков, липидов, насыщенных, моновенасыщенных, полиненасыщенных жирных кислот, 14 витаминов, 8 макро- и 18 микроэлементов, отдельных органических кислот и углеводов.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК

Вид и версия системы управления базой данных: Paradox 7,0

Вид и версия операционной системы: Windows 9x/2000/Me/XP/7

Объем базы данных: 2,5 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2020620238

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ, ОХРАНЯЕМОЙ
АВТОРСКИМИ ПРАВАМИ**

Номер регистрации (свидетельства):
2020620238
Дата регистрации: 10.02.2020
Номер и дата поступления заявки:
2020620002 13.01.2020
Дата публикации и номер бюллетеня:
10.02.2020 Бюл. № 2
Контактные реквизиты:
is@fncps.ru

Автор(ы):
Лисицын Андрей Борисович (RU),
Пчелкина Виктория Александровна (RU),
Никитина Марина Александровна (RU),
Чернуха Ирина Михайловна (RU),
Хвыля Сергей Игоревич (RU)
Правообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
центр пищевых систем им. В.М. Горбатова»
РАН (RU)

Название базы данных:
Микроструктура мяса и мясных продуктов

Реферат:

В базе данных рассматриваются современные сведения о морфологии мышечных тканей в сыром мясном сырье, полуфабрикатах и после технологической обработки. Описаны особенности гистологической структуры мясных продуктов. Освещаются возможности проведения микроструктурного анализа на качественном и количественном уровне с помощью методов гистологического анализа. Использование качественной и количественной (морфометрической) гистологической оценки мяса и мясных продуктов позволяет объективно установить их реальный состав и его соответствие как нормативной документации, так и указываемой в торговой декларации. База данных представляет собой электронное пособие и может быть использована технологами мясной промышленности, ветеринарными врачами, биологами и гистологами, а также для оценки качества мясных продуктов в промышленности, товароведении и сертификационных центрах. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 7.

Вид и версия системы управления базой данных: Веб-браузер (HTML)

Объем базы данных: 210 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2008620240

«База данных основных характеристик продуктов питания, блюд, биологически активных и пищевых добавок, диет и заболеваний для составления рациона питания общего и профилактического назначения» DBHL (Database Healthy Life)

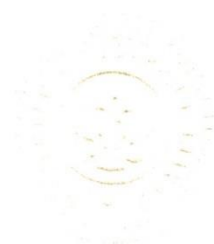
Правообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет прикладной биотехнологии» (RU)*

Автор(ы): *Ивашкин Юрий Алексеевич, Никитина Марина Александровна, Бородий Илья Владимирович, Пекарь Роман Борисович (RU)*

Заявка № 2008620106

Дата поступления 22 апреля 2008 г.

Зарегистрировано в Реестре баз данных
18 июня 2008 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.И. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных
№ 2011620511

«Переваримость in vitro различного белоксодержащего сырья»

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет прикладной биотехнологии» (RU)*

Автор(ы): *Никитина Марина Александровна, Петров Антон Сергеевич (RU)*

Заявка № 2011620367

Дата поступления 16 мая 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре баз данных
8 июля 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных
№ 2010620660

**«База Данных продуктов питания
с формализованными требованиями»**

Правообладатель(ли): **Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет прикладной
биотехнологии» (RU)**

Автор(ы): **Ивашкин Юрий Алексеевич, Никитина Марина
Александровна, Пекарь Роман Борисович (RU)**

Заявка № **2010620510**

Дата поступления **6 сентября 2010 г.**

Зарегистрировано в Реестре баз данных
1 ноября 2010 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

АВТОРСКИЙ
ЭКЗЕМПЛЯР



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ
И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

Об официальной регистрации базы данных

№ 2003620140

На основании Закона Российской Федерации “О правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных”, введенного в действие 20 октября 1992 года, Российским агентством по патентам и товарным знакам выдано настоящее свидетельство об официальной регистрации базы данных

**“Нормы потребления пищевых веществ в сутки рекомендованные
ФАО/ВОЗ”**

Правообладатель(ли):

*Московский государственный университет
прикладной биотехнологии (RU)*

Страна: Российская Федерация

по заявке № 2003620099, дата поступления: 22 мая 2003 г.

Автор(ы):

*Ивашкин Юрий Алексеевич,
Никишина Марина Александровна (RU)*

Зарегистрировано в Реестре баз
данных

г. Москва, 3 июля 2003 г.



Генеральный директор

А.Д. Короткий

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – СВИДЕТЕЛЬСТВА О РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2017664268

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2017664268	Авторы: Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU), Насонова Виктория Викторовна (RU), Туниева Елена Карленовна (RU)
Дата регистрации: 19.12.2017	
Номер и дата поступления заявки: 2017660818 25.10.2017	
Дата публикации: 19.12.2017	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (RU)
Контактные реквизиты: 109316, РФ, Москва, ул. Талалихина, 26, ФНЦ пищевых систем Трифонову М.В., trifonov@vniimp.ru	

Название программы для ЭВМ:

Компьютерная программа по статистической обработке экспериментальных данных

Реферат:

Программа предназначена для обработки и анализа результатов в исследованиях технологических экспериментов. Область применения: интенсификация труда научного исследователя, сокращение сроков и затрат на технологические эксперименты, повышение достоверности выводов по результатам исследований. Функциональные возможности: однофакторный дисперсионный анализ; двухфакторный дисперсионный анализ без повторений; корреляционный анализ; регрессионный анализ (простая линейная зависимость; множественная линейная регрессия; нелинейная зависимость; гиперболическая, степенная, показательная, экспоненциальная, логарифмическая и параболическая регрессии), статистический анализ результатов технологического эксперимента, проверка точности оценок.

Тип реализующей ЭВМ:	IBM PC-совмест. ПК
Язык программирования:	Object Pascal
Вид и версия операционной системы:	Windows XP/7
Объем программы для ЭВМ:	2696704 байт

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2017663406	Авторы: Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Кузнецова Татьяна Георгиевна (RU), Лазарев Антон Александрович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU)
Дата регистрации: 01.12.2017	
Номер и дата поступления заявки: 2017660324 13.10.2017	
Дата публикации: 01.12.2017	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (RU)
Контактные реквизиты: 109316, РФ, Москва, ул. Талалихина, 26, ФНИЦ пищевых систем, Трифонову М.В., trifonov@vniimp.ru	

Название программы для ЭВМ:

Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных

Реферат:

Программа по сбору и статистической обработке сенсорных данных. Область применения: анализ результатов дегустационной оценки образцов мясной продукции. Функциональные возможности: оценка дегустаторами дескрипторов в образцах мясных продуктов по шкале различного типа; объединение полученных результатов оценки дегустаторов в массивы данных по образцам, дескрипторам или дегустаторам для последующего статистического анализа; определение общей согласованности дегустационной комиссии по всем оценкам дескрипторов всех образцов; анализ результатов каждого дегустатора при согласованной и несогласованной оценке дескрипторов; создание сенсорных профилей в виде графиков; сравнение полученных результатов и построенных сенсорных профилей друг с другом или с эталонным образцом.

Тип реализующей ЭВМ:	IBM PC-совмест. ПК
Язык программирования:	Object Pascal
Вид и версия операционной системы:	Windows XP/7
Объем программы для ЭВМ:	2873514 байт

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2016616925

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2016616925	Авторы: Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU), Сусь Егор Борисович (RU), Насонова Виктория Викторовна (RU)
Дата регистрации: 22.06.2016	
Номер и дата поступления заявки: 2016614606 05.05.2016	
Дата публикации: 20.07.2016	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова» (RU)

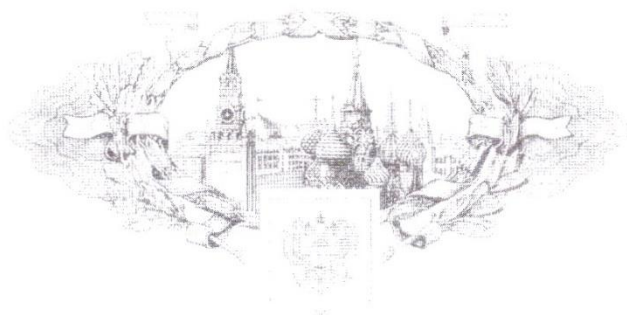
Название программы для ЭВМ:
«Конструктор рецептов»

Реферат:

Программа позволяет получать данные по пищевой ценности колбасных изделий. Эти данные представляют собой сведения с фиксированными рецептурами, соответствующими требованиям стандартов, и расширенными рецептурами по техническим условиям и технологическим инструкциям, дающими возможность рассчитать рецептуру продукта при свободном выборе ингредиентов. Программа также позволяет скорректировать и оптимизировать продукты питания по различным критериям, структурировать полученное множество альтернатив и установить оптимальный вариант продукта заданного качества, состава и свойств.

Тип реализующей ЭВМ:	IBM PC-совмест. ПК
Язык программирования:	Object Pascal (среда Delphi 7)
Вид и версия операционной системы:	Windows 9x/2000/Me/XP/7
Объем программы для ЭВМ:	14,7 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015660124

**«Расчет нутриентной адекватности состава
поликомпонентных мясных продуктов»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова» (RU)*

Авторы: *Никитина Марина Александровна (RU), Лисицын Андрей Борисович (RU), Захаров Александр Николаевич (RU), Сусь Егор Борисович (RU), Устинова Александра Васильевна (RU), Дыдыкин Андрей Сергеевич (RU)*



Заявка № **2015610736**

Дата поступления **12 февраля 2015 г.**

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **22 сентября 2015 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Д.А. Кирин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU 2015660124

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):
2015660124

Дата регистрации: 22.09.2015

Номер и дата поступления заявки:
2015610736 12.02.2015

Дата публикации: 20.10.2015

Контактные реквизиты:
+7-495-676-92-14

Авторы:

Никитина Марина Александровна (RU),
Лисицын Андрей Борисович (RU),
Захаров Александр Николаевич (RU),
Сусь Егор Борисович (RU),
Устинова Александра Васильевна (RU),
Дыдыкин Андрей Сергеевич (RU)

Правообладатель:

Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский
научно-исследовательский институт мясной
промышленности имени В.М. Горбатова» (RU)

Название программы для ЭВМ:

«Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов»

Реферат:

Программа осуществляет проектирование поликомпонентных мясных продуктов. Программа применяется для расчета пищевой, биологической и энергетической ценности мясного продукта, а также витаминного и минерального составов и качественных показателей белкового компонента (КРАС, коэффициенты утилитарности и сопоставимой избыточности, биологическая ценность). Программа осуществляет работу с Базой данных «Пищевые продукты».

Тип реализующей ЭВМ:

ПК

Язык программирования:

Object Pascal

Вид и версия операционной системы:

Windows 9x/2000/Me/XP/7

Объем программы для ЭВМ:

4,85 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2009610141

Экспертная система «Оценка качества рационов питания
дифференцируемых групп студентов»

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет прикладной
биотехнологии» (RU)*

Автор(ы): *Ивашкин Юрий Алексеевич, Никитина
Марина Александровна, Максименко Раиса Игоревна (RU)*

Заявка № 2008615134

Дата поступления 6 ноября 2008 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
11 января 2009 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б. П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2008615299

Компьютерная система
«Проектирование комбинированных продуктов»

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет прикладной биотехнологии» (RU)*

Автор(ы): *Никитина Марина Александровна, Спирина Юлия Борисовна (RU)*

Заявка № 2008614193

Дата поступления 16 сентября 2008 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
5 ноября 2008 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.Н. Симонов

АВТОРСКИЙ
ДИПЛОМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ
И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

Об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2003611592

На основании Закона Российской Федерации “О правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных”, введенного в действие 20 октября 1992 года, Российским агентством по патентам и товарным знакам выдано настоящее свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ

“Экспертная система адекватного питания”

Правообладатель(ли):

*Московский государственный университет
прикладной биотехнологии (RU)*

Автор(ы):

*Ивашкин Юрий Алексеевич,
Никишина Марина Александровна (RU)*

Страна: Российская Федерация

по заявке № 2003611102, дата поступления: 22 мая 2003 г.

Зарегистрировано в
Реестре программ для ЭВМ

г. Москва, 3 июля 2003 г.



Генеральный директор

А.Д. Короткий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2005613126

**“Экспертная система индивидуального питания”
(Food&Life)**

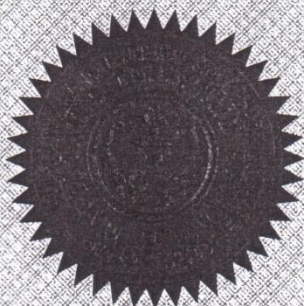
Правообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования “Московский
государственный университет прикладной биотехнологии” (RU)*

Автор(ы): *Рогов Иосиф Александрович, Ивашкин Юрий
Алексеевич, Кузнецов Александр Сергеевич, Никитина Марина
Александровна, Титов Евгений Иванович, Митасева Людмила
Филипповна (RU)*

Заявка № 2005612802

Дата поступления 1 ноября 2005 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
30 ноября 2005 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.Л. Симонов

УДК 631/635.061.4

Инновационные технологии и изобретения ("Архимед")

Представлены итоги участия научных учреждений в сфере сельскохозяйственных наук ФАНО России в XIX Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий "Архимед". Все результаты интеллектуальной деятельности ориентированы на практическую реализацию и могут быть вовлечены в товарный оборот или производственный цикл. Ключевые слова: салон "Архимед", экспонаты, разработки, изобретения, инновационные технологии

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND INVENTIONS ("ARCHIMEDES")

Truneva S.F., Shcherbinin D.Yu.

There are presented results of participating by scientific institutions in the sphere of agricultural sciences of Russian FANO in XIX Moscow International Salon of inventions and innovative technologies "Archimed". All results of intellectual activity are orientated to practical realizing and may be introduced into the commodity turnover or productive cycle.

Key words: salon "Archimed", exhibits, designs, inventions, innovative technologies

С 29 марта по 1 апреля 2016 года в Москве на территории Конгрессно-выставочного центра "Сокольники" состоялся XIX Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий "Архимед". Это единственная в России выставочная площадка, ориентированная на изобретателей и рационализаторов. Здесь демонстрируются инновационные научно-технические достижения, расширяются деловые и научные контакты на межрегиональном и международном уровнях. Инновационные технологии и изобретения можно рассматривать как результат научной деятельности, который воплощается, прежде всего, в определенных научно-технических знаниях, и затем реализуется в конкретном производственном цикле, обеспечивая при этом качественный рост эффективности процессов материального производства.

В работе салона "Архимед-2016" участвовали представители национальных изобретательских сообществ из 44 регионов РФ. На стендах были представлены разработки из 17 зарубежных стран, в том числе: Ирана, Китая, Катар, Польши, Румынии, Тайваня, Хорватии, Чехии, а также стран ближнего зарубежья - Белоруссии и Казахстана. Всего продемонстрировано 680 инновационных изобретений и технологий.

Филиал ИИЕТ РАН "Выставочный центр РАН" стал организатором коллективных стендов "Научные организации ФАНО России" и "Академические науки Москвы", на которых свои достижения и изобретения продемонстрировали 29 научно-исследовательских институтов, среди которых 12, осуществляющих разработки в сфере сельскохозяйственных наук.

При формировании выставочной экспозиции было уделено внимание перспективным разработкам, ориентированным на реализацию программы импортозамещения.

Наиболее интересные и перспективные экспонаты оценены Международным жюри, председателем которого был член-корреспондент РАН Ю.М. Батурин.

Победителям смотра-конкурса научно-технических разработок вручены золотые, серебряные и бронзовые медали, Дипломы российских министерств, ведомств и международных инновационных организаций.

Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машин-

но-тракторного парка награжден шестью медалями по итогам конкурса "Лучший изобретатель Москвы", в том числе: тремя золотыми за разработки — "Электроискровой способ нанесения толстослойных покрытий повышенной сплошности", "Комплект оборудования и макет установки для микродугового оксидирования, восстановления и упрочнения изношенных деталей методом электроискровой обработки"; серебряной — "Автоматизированную установку для восстановления и упрочнения деталей 4-Д"; двумя бронзовыми — "Электроискровой механизированный комплекс упрочнения дисковых пил БИГ-пила" и "Способ индукционной наплавки высоколегированных чугунов".

Всероссийский НИИ механизации сельского хозяйства по итогам конкурса "Лучший изобретатель Москвы" удостоен золотой медали за разработку самодонного робота-опрыскивателя, предназначенного для обработки растений земляники и других низкорастущих культур и серебряной медали за климатическую установку для выращивания растений фитотрон, оснащенную дистанционным компьютерным регулированием температуры, влаги и интенсивности освещения.

Всероссийский НИИ электрификации сельского хозяйства конкурс "Лучший изобретатель Москвы" представил разработки, которые были удостоены серебряных медалей:

двусторонний высоковольтный матричный солнечный модуль с напряжением более 1000В для автономного энергоснабжения, выполненный в виде матрицы из соединенных миниатюрных солнечных элементов, разработанный специально для использования с концентраторами солнечного излучения. Напряжение 1000 В достигается с площади фотопреобразователя 0,04 м² и 15...20 В с 1 см² без концентрации солнечного излучения;

кровельную солнечную панель в виде черепицы, которую используют при строительстве зданий с одновременной электрогенерацией от солнечного излучения;

складные и секционные компактные солнечные модули для электропитания постоянным током различных устройств (мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки, внешние аккумуляторы, малые двигатели постоянного тока, светодиодные лампы и т.д.) с параметрами 5В, 0,5А (стандарт электропитания USB) и более в пропорциональном отношении

(при последовательно-параллельном соединении модулей) в зависимости от требований электропотребителя;

светодиодные системы освещения с использованием резонансных способов передачи электроэнергии для освещения улиц, жилых, промышленных и сельскохозяйственных объектов;

резонансную систему освещения для замены существующих линий со стандартной системой питания от трехфазных электрических сетей, использования при строительстве новых линий освещения животноводческих и птицеводческих помещений;

плазменно-химическую технологию переработки органических и углеводородных отходов для получения жидких котельных композитных биотоплив из органических и углеводородных отходов и их сжигания в существующих котельных и теплогенераторных установках в поле ионизированной плазмы, создаваемой СВЧ-разрядом (реализация технологии позволит до 50% сократить потребление углеводородных топлив в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, сфере ЖКХ);

энергоберегающую систему охлаждения молока с использованием потенциала природного холода и хладоносителей с низкой температурой заморозки для охлаждения молока на фермах, обеспечивающую снижение энергозатрат на 30...40% и сохранение высокого качества.

Всероссийский НИИ мясной промышленности имени В.М.Горбатова представил на конкурс "Лучший инновационный проект Москвы":

систему непрерывного действия по измельчению и переработке замороженного мясного сырья. Технология включает автоматическую линию по производству вареных колбас и колбасных изделий (золотая медаль);

биотехнологию обогащенных полипептидами мясных паштетов для питания детей с функциональными нарушениями желудочно-кишечного тракта (серебряная медаль);

мясные снеки- технологии мясной продукции длительного срока годности с использованием криоизмельченного мясного сырья, овощных и фруктовых ингредиентов с учетом их влияния на технологические и биохимические характеристики готовой продукции;

программу для ЭВМ "Расчет нутриентной адекватности состава поликомпонентных мясных продуктов" для расчета качественных показателей белкового компонента: коэффициентов сопоставимой избыточности, различий аминокислотного состава, утилитарности и биологической ценности (бронзовая медаль);

технологии изготовления биологически активной кормовой добавки "Колимак" для сохранения поголовья и уменьшения заболеваемости сельскохозяйственных животных (бронзовая медаль).

Всероссийский НИИ животноводства имени Л.К.Эрнста совместно с ООО НПК "Карбон-Шунгит" по итогам конкурса "Лучшая разработка агропромышленного комплекса России" удостоен серебряной медали за "Способ регулирования продуктивности жвачных животных". Золотой медалью отмечена разработка "Способ отбора племенных свиней мясных пород".

Всероссийский НИИ птицеперерабатывающей промышленности на конкурс "Лучший изобретатель Москвы" представил научные и научно-технологические разработки, отмеченные:

серебряными медалями — "Способ производства сырых продуктов из мяса птицы", "Устройство для извлечения внутренностей из тушек птицы"

бронзовыми медалями — "Устройство для снятия мяса с костей окорочков птицы", "Способ производства мяса механической обвалки разного качества и устройство для его осуществления" и "Способ определения качества и потребительской стоимости мяса птицы".

Всероссийский НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я.Р.Коваленко удостоен серебряной медали за инновационное технологическое решение получения животного полноценного белка методами клеточной биотехнологии.

Московский НИИ сельского хозяйства "Немчиновка" награжден золотой медалью за разработку "Технологии ускоренного воспроизводства плодородия почв для реализации потенциала интенсивных сортов зерновых культур".

Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства представил на конкурс "Лучший инновационный проект Москвы" *мобильный агрегат для магнитно-импульсной обработки промышленных плантаций земляники МА МИО (золотая медаль).*

НИИ хлебопекарной промышленности представил восемь инновационных разработок на конкурсы:

"Инновационный потенциал молодежи Москвы-2016" — *кексы "Ржаное диво" повышенной пищевой ценности из ржаной муки и технологии их производства, изделия хлебобулочные для питания пожилых людей и технология производства диабетических макаронных изделий (золотые медали);*

"Лучший инновационный проект Москвы" — *хлебобулочные изделия "Стайер" и "Бодифитнес" для питания спортсменов (серебряная медаль);*

"Лучший изобретатель Москвы" — *новый вид крупы и муки из зерна тритикале, бесклейковинную смесь с ржиновым порошком и хлеб на ее основе для безглютеновой диеты, технологии производства слоеных изделий на основе ржаной муки, стартовую композицию для разового цикла ржаной густой заправки "Биоконцентрат" (серебряные медали).*

Всероссийский НИИ крахмалопродуктов удостоен золотой медали за технологию переработки нативного крахмала методом низкотемпературной биоконверсии в гетерогенной среде на пористый крахмал и глюкозный сироп.

ХИХ Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий "Архимед" продемонстрировал широкий спектр и высокий практический потенциал научно-технической продукции организаций, подведомственных ФАНО России.

С.Ф.Трунева, кандидат экономических наук Институт истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН, Филиал ИИЕТ РАН "Выставочный центр РАН"

Д.Ю.Щербинин, кандидат технических наук Институт истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ЗОЛОТАЯ
ОСЕНЬ**



**GOLDEN
AUTUMN**

РОССИЙСКАЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА

RUSSIAN
AGRICULTURAL
EXHIBITION

ДИПЛОМ

награждается золотой медалью

ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

**За разработку и внедрение программного обеспечения по
сбору и статистической обработке сенсорных данных**

**10-13
октября
2018**

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

**Москва
ВДНХ**

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека по городу Москвы

Департамент потребительского рынка и услуг города Москвы

Департамент образования города Москвы

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента образования
города Москвы

О.Н. Ларионова

«__» 2008г.

УТВЕРЖДАЮ

Зам. руководителя Департамента
Потребительского рынка и услуг
Города Москвы

В.Л. Варфоломеева

«__» 2008г.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Управления Роспотребнадзора
по городу Москве Главный государственный
санитарный врач по городу Москвы

Н.Н. Филатов

«__» 2008г.

Типовой рацион питания для детей и подростков в возрасте от 7 до 10 и от 11 до 17 лет, обучающихся в государственных
общеобразовательных учреждениях системы Департамента образования города Москвы со столовыми-догоготовочными
на период с 01 сентября по 01 марта

(методические рекомендации)

РАЗРАБОТАНО

РАЗРАБОТАНО

Московским Фондом содействия санитарно-гигиеническому
благополучию населения
1-й заместитель исполнительного директора

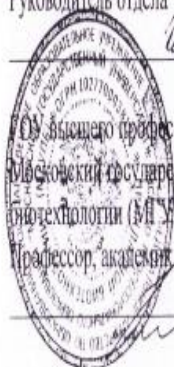


В.И. Тобис

Отделом детского питания ГУ НИИ питания РАМН

Руководитель отдела

И.Я. Конь



Фонд высшего профессионального образования
Московский государственный университет прикладной
технологии (МГЭП)
Профессор, академик РАСХН

Е.И. Титов

Отделом надзора за условиями воспитания и обучения Управления
Роспотребнадзора по городу Москве
Начальник отдела
Заместитель начальника отдела

Н.В. Сняжкова

А.В. Мосов

Москва 2008 г.

Департамент образования города Москвы

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека по городу Москве

УТВЕРЖДАЮ

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента
образования города Москвы

Заместитель руководителя Департамента
потребительского рынка и услуг

Руководитель Управления Роспотребнадзора
по городу Москве
Главный государственный санитарный врач
по городу Москве

О.Н. Ларионова
« » 2008 г.

В.Л. Варфоломеева
« » 2008г.



Типовые двухнедельные (на 14 дней) рационы питания в оздоровительных учреждениях
с дневным пребыванием детей для возрастных групп 7-10 и 11-17 лет в период каникул

(методические рекомендации г. Москвы)

РАЗРАБОТАНО

РАЗРАБОТАНО

ГОУ высшего профессионального образования
Московский государственный университет
Прикладной биотехнологии (МГУПБ)
Ректор, академик РАН



Е.И. Титов



Фондом содействия санитарно-эпидемиологическому
благополучию населения
Управляющего директора

В.И. Тобис

Управление Роспотребнадзора по городу Москве
Зам. начальника отдела

А.В. Мосов

Москва 2008г

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека по городу Москве

Департамент потребительского рынка и услуг города Москвы

Департамент образования города Москвы

УТВЕРЖДАЮ

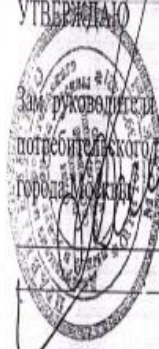
Руководитель
Департамента образования
города Москвы



Л.П. Кезина

УТВЕРЖДАЮ

Зам. руководителя Департамента
потребительского рынка и услуг
города Москвы



В.Л. Варфоломеева

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Управления Роспотребнадзора
по городу Москве
Главный государственный санитарный врач
по городу Москве



Н.Н. Филатов

Типовой рацион питания для детей и подростков в возрасте от 7 до 10 и от 11 до 17 лет, обучающихся в
государственных общеобразовательных учреждениях системы Департамента образования города Москвы

РАЗРАБОТАНО

ГУ НИИ питания

Директор, академик РАН

Отделом детского питания

Руководитель



В.А. Тутельян

И.Я. Ковь

ГОУ высшего профессионального образования

Московский государственный университет

прикладной биотехнологии (МГУПБ)

Ректор, академик РАСХН



Е.И. Титов

(методические рекомендации)

РАЗРАБОТАНО

Московский Фонд содействия санитарно-эпидемиологическому

благополучию населения

Зам. исполнительного директора



В.И. Тобис

Отделом надзора за условиями воспитания и обучения

Управления Роспотребнадзора по городу Москве

Начальник отдела

Зам. начальника отдела



Н.В. Синякова

А.В. Мосов

Москва 2006 г.