

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2471>
<https://elibrary.ru/YDDGAU>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Подходы к проектированию рецептур мясных продуктов с заданными показателями качества



А. С. Мирошник^{1,*}, И. Ф. Горлов^{1,2}, М. И. Сложенкина^{1,2}

¹ Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции^{ROR}, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный технический университет^{ROR}, Волгоград, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2023

Принята после рецензирования: 31.05.2023

Принята к публикации: 06.06.2023

*А. С. Мирошник: AlexMiroshnik.de@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-8817-6435>

И. Ф. Горлов: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>

М. И. Сложенкина: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

© А. С. Мирошник, И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, 2023



Аннотация.

Рациональное использование ресурсов мясоперерабатывающего предприятия является основой для поддержания высокого уровня рентабельности производства и зависит от постоянного совершенствования существующих рецептур мясных продуктов и разработки новых. Эффективное выполнение этих задач возможно при использовании аналитических методов, а также комплексного и системного подходов. Рассмотрели особенности, недостатки и преимущества современных технических решений, методов и подходов к моделированию поликомпонентных мясных продуктов с заданными показателями качества.

Изучили научные статьи рецензируемых ведущих научных изданий, учебно-методические материалы, научно-исследовательские работы, опубликованные в электронном виде диссертационными советами Российской Федерации, и объекты интеллектуальной собственности, размещенные в открытых реестрах Федерального института промышленной собственности в период 1990–2022 гг. по изучаемой теме.

Представили описание основных принципов проектирования пищевой продукции и особенностей параметрических моделей, используемых для описания пищевых систем. Установили отсутствие универсальной методики разработки мясной продукции как в аспекте применимости к различным видам поликомпонентных мясных продуктов, так и целей проектирования.

Ни один из разработанных методов проектирования рецептурного состава многокомпонентных мясных систем без наличия фактической информации о показателях сырья из-за их высокой вариабельности в реальных условиях, а также медленной адаптации передовых информационных технологий под задачи пищевой промышленности не позволяет достичь высокого уровня точности прогнозирования качественных показателей готовой продукции. Создание общедоступной, подробной и постоянно обновляющейся базы данных по показателям качества сырья могло бы частично решить эту проблему.


Ключевые слова. Пищевая комбинаторика, математическое моделирование, цифровой двойник, структурно-параметрическая оптимизация, циклический подход, математическое программирование, биологическая ценность

Для цитирования: Мирошник А. С., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И. Подходы к проектированию рецептур мясных продуктов с заданными показателями качества // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 4. С. 698–709. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2471>

Approaches to Developing New Complex Meat Products with Preset Quality



Alexei S. Miroshnik^{1,*} , Ivan F. Gorlov^{1,2} ,
Marina I. Slozhenkina^{1,2} 

¹ Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production ,
Volgograd, Russia

² Volgograd State Technical University , Volgograd, Russia

Received: 28.03.2023
Revised: 31.05.2023
Accepted: 06.06.2023

*Alexei S. Miroshnik: AlexMiroshnik.de@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-8817-6435>
Ivan F. Gorlov: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>
Marina I. Slozhenkina: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>

© A.S. Miroshnik, I.F. Gorlov, M.I. Slozhenkina, 2023



Abstract.

A profitable meat-processing business relies on the rational use of its resources, which, in its turn, depends on the constant improvement of product formulations and development of new ones. These operations involve advanced analytical methods and complex approaches. The article introduces a review of modern technical solutions, methods, and approaches to modeling new complex meat products with preset quality indicators.

The review (1990–2022) involved research articles published in high-rated peer-reviewed research journals, educational literature, digital theses published by Russian Dissertation Councils, and patents registered by the Institute of Industrial Property.

The synchronic and diachronic analysis of basic principles of food product design and parametric modeling revealed no universal methodology for meat products development, both in terms of goals and applicability to different meat products types. Forecasting of finished meat products quality indicators requires relevant and accurate information, which is highly variable and fast-changing. Unfortunately, advanced information technologies are slow to adapt to the urgent tasks of the food industry.

As a result, the current methods for developing new complex meat product formulations are useless when meat producers have no access to relevant and self-updating databases on raw materials properties.

Keywords. Food combinatorics, mathematical modeling, digital twin, structural and parametric optimization, cyclic approach, mathematical programming, biological value

For citation: Miroshnik AS, Gorlov IF, Slozhenkina MI. Approaches to Developing New Complex Meat Products with Preset Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(4):698–709. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2471>

Введение

Изыскание эффективных и универсальных методов повышения рентабельности мясоперерабатывающего производства путем рационального использования ресурсов предприятия является одной из важных проблем, стоящих перед пищевой промышленностью на современном этапе ее формирования. Основным подходом к решению этой проблемы выступает обновление ассортимента выпускаемой пищевой продукции.

Использование существующих рецептур часто не представляется возможным из-за изменения конъюнктуры рынка, физиологических потребностей профессиональных и возрастных групп населения, развития нутрициологии и появления на рынке нового сырья и ингредиентов, в том числе структурообразователей [1–5]. Некоторыми авторами отме-

чается общая тенденция к расширению ассортиментной базы продукции, отличающейся от той, что находится в обороте [6–9]. Производитель вынужден создавать новые и модифицировать старые рецептуры мясной продукции. Первый вариант сопряжен с многократными выработками, большими затратами и длительным процессом доработки рецептур. Реализация второго варианта требует установления математических зависимостей ряда ключевых показателей качества и количества вносимого ингредиента в каждом конкретном мясном изделии из-за специфики пищевых систем [10, 11].

Особенности технологических процессов, изменение запросов потребителей, учет различных способов получения мясного сырья при расчете себестоимости, колебание параметров качества ингредиентов, в зависимости от производителя и фактора

сезонности, усложняют процесс разработки многокомпонентных продуктов, обуславливая необходимость использования современных аналитических методов.

Создание методов прогнозирования показателей качества пищевой продукции из-за большого количества оптимизируемых показателей связано с использованием электронно-вычислительных машин. Это требует от технолога или ученого знаний сразу в целом ряде научных областей: программная инженерия, математическое программирование, биохимия, микробиология, нутрициология и реология.

Таким образом, обновление ассортимента мясной продукции нельзя считать эффективным без использования комплексного и системного подходов. В этой связи актуальным является рассмотрение области применения и особенностей использования разработанных методов проектирования рецептур пищевых продуктов заданного качества.

Цель работы – рассмотреть современные методологические подходы к моделированию поликомпонентных мясных продуктов с заданными показателями качества.

Объекты и методы исследований

При подготовке обзора использовали стандартные методы литературного поиска. В качестве материалов исследования выступали:

- обзорные и экспериментальные научные статьи в журналах и сборниках трудов международных конференций, опубликованные в издательствах, которые индексируются информационными наукометрическими базами данных Scopus, Web of Science Core Collection и eLIBRARY.RU;
- учебно-методические материалы;
- научно-исследовательские работы, опубликованные в электронном виде диссертационными советами Российской Федерации;
- объекты интеллектуальной собственности, находящиеся в открытых реестрах на сайте Федерального института промышленной собственности, размещенные в период 1990–2022 гг.

Представленная работа ориентирована на работников предприятий пищевой отрасли, поэтому в ней отражены труды, содержащие законченные и имеющие практическую значимость исследования. Материалы научно-популярных и нересцензируемых научных изданий при подготовке литературного обзора не рассматривались. Это связано с высокой наукоемкостью исследований по изучаемой теме, из-за чего сложно оценить достоверность и глубину представленных в них результатов.

Результаты и их обсуждение

Большинство разработанных методов проектирования состава сбалансированных мясных изделий базируется на принципах, сформулированных

в 1990 г. академиком РАСХН Н. Н. Липатовым, согласно которым

- рационально сбалансированному набору сырьевых ингредиентов и материалов соответствует рационально сбалансированный пищевой продукт;
- в любой рецептуре белоксодержащих ингредиентов существует такое соотношение белоксодержащих компонентов, которое обеспечивает максимально сбалансированный аминокислотный состав по отношению к эталонному белку;
- жирнокислотный состав проектируемого продукта возможно целенаправленно изменять путем внесения жиросодержащих ингредиентов;
- в любой рецептуре существует такое соотношение жиросодержащих ингредиентов, которое обеспечивает максимально приближенное к требуемому соотношение насыщенных, моно- и полиненасыщенных жирных кислот;
- при проектировании рецептур продукта необходимо учитывать состав блюд и продуктов, единоразово потребляемых с проектируемым;
- существует такой компонентный состав поликомпонентного продукта, входящего в рацион одноразового или суточного потребления, который балансирует этот рацион по показателям биологической и энергетической ценности и набору балластных компонентов пищи [12–15].

Эти принципы можно считать универсальными, но их реализация на практике сложна, зависит от вида конкретного продукта и задачи оптимизации и сопровождается применением принципов нутрициологии и биоэлементологии [16–19].

Разработку многокомпонентного пищевого продукта, обладающего требуемым комплексом органолептических показателей, функционально-технологических свойств, пищевой и биологической ценностью, сложно выполнить без использования математических моделей и современных информационных технологий, применение которых требует параметрического описания и численного выражения характеристик продукта [14, 16, 20, 21]. В случае мясных изделий процесс должен включать оценку безопасности и кулинарных свойств [21]. Согласно М. А. Никитиной и др. контролируемые параметры для этого вида продукции соответствуют отраженным в таблице 1 [20].

В поздних работах обозначается необходимость учета антиалиментарных и минорных компонентов пищи. А. Х. Нугманов дополняет этот список понятиями «компонентная энтропия» и «энтропия энергетической ценности», определяющими степень неопределенности содержания рассматриваемых компонентов в продукте [23].

Оптимизация всех этих параметров при проектировании рецептурного состава мясного продукта осуществляется с использованием параметрических моделей [24]. Н. В. Донских и др. считают необ-

Таблица 1. Параметрическое описание мясного продукта

Table 1. Meat product parametric description

Группа свойств	Параметр
Органолептические свойства	Внешний вид
	Запах
	Цвет
	Вкус
	Сочность
	Консистенция
Энергетическая ценность	Степень биологического окисления
Биологическая ценность	Содержание и аминокислотный состав белка
	Содержание макро- и микроэлементов
	Содержание витаминов
	Содержание углеводов и их состав
	Количество и форма связи воды
	Содержание жира и его состав
Безопасность	Содержание микроорганизмов
	Содержание примесей
	Содержание токсинов
	Содержание химических соединений – продуктов реакций, полученных в результате технологической обработки или хранения
Кулинарные свойства	Способность к механической обработке
	Степень обработки
Функционально-технологические свойства	Влагоудерживающая способность
	Жирудерживающая способность
	Кислотность
	Пластичность
	Предельное напряжение сдвига
Структурно-механические свойства	Водосвязывающая способность
	Содержание белка и его состояние
	Содержание жира и его состояние
	Содержание соединительной ткани и сухожилий
	Консистенция
	Текстура

ходимым использование объектно-ориентированного подхода с построением рецептуры иерархическим способом [25].

Разработанные методы достижения требуемого качества отличаются: алгоритмом выбора целевых функций и системы ограничений; методом оптимизации; системой расчета показателей биологической ценности белка; системой учета потерь в результате технологической обработки, взаимодействия микронутриентов и действия антипитательных факторов; системой учета химической формы микронутриентов; способом достижения структурных и органолептических свойств мясного изделия.

Классификации существующих методов не разработано. Однако следует отметить следующую тенденцию: чем новее метод, тем больше показателей качества он может оптимизировать. Это связано с развитием представлений нутрициологии и активной интеграцией информационных технологий в пищевую промышленность [20, 26–31]. В связи с этим в данном обзоре рассмотрены современные методы.

Система проектирования комбинированных мясных продуктов, созданная М. А. Никитиной и др., подразумевает расчет основных показателей химического состава продукта в следующей последовательности:

- 1) системный анализ и подбор ингредиентов рецептуры;
- 2) определение содержания белков, жиров и углеводов;
- 3) определение аминокислотного и жирнокислотного состава;
- 4) определение энергетической ценности;
- 5) расчет аминокислотного сора по основным незаменимым аминокислотам;
- 6) расчет коэффициента утилитарности и коэффициента сопоставимой избыточности [14].

Проектирование рецептур осуществляется при помощи программного обеспечения, база данных которого содержит информацию о жирнокислотном составе продукта. В поздней работе М. А. Никитиной

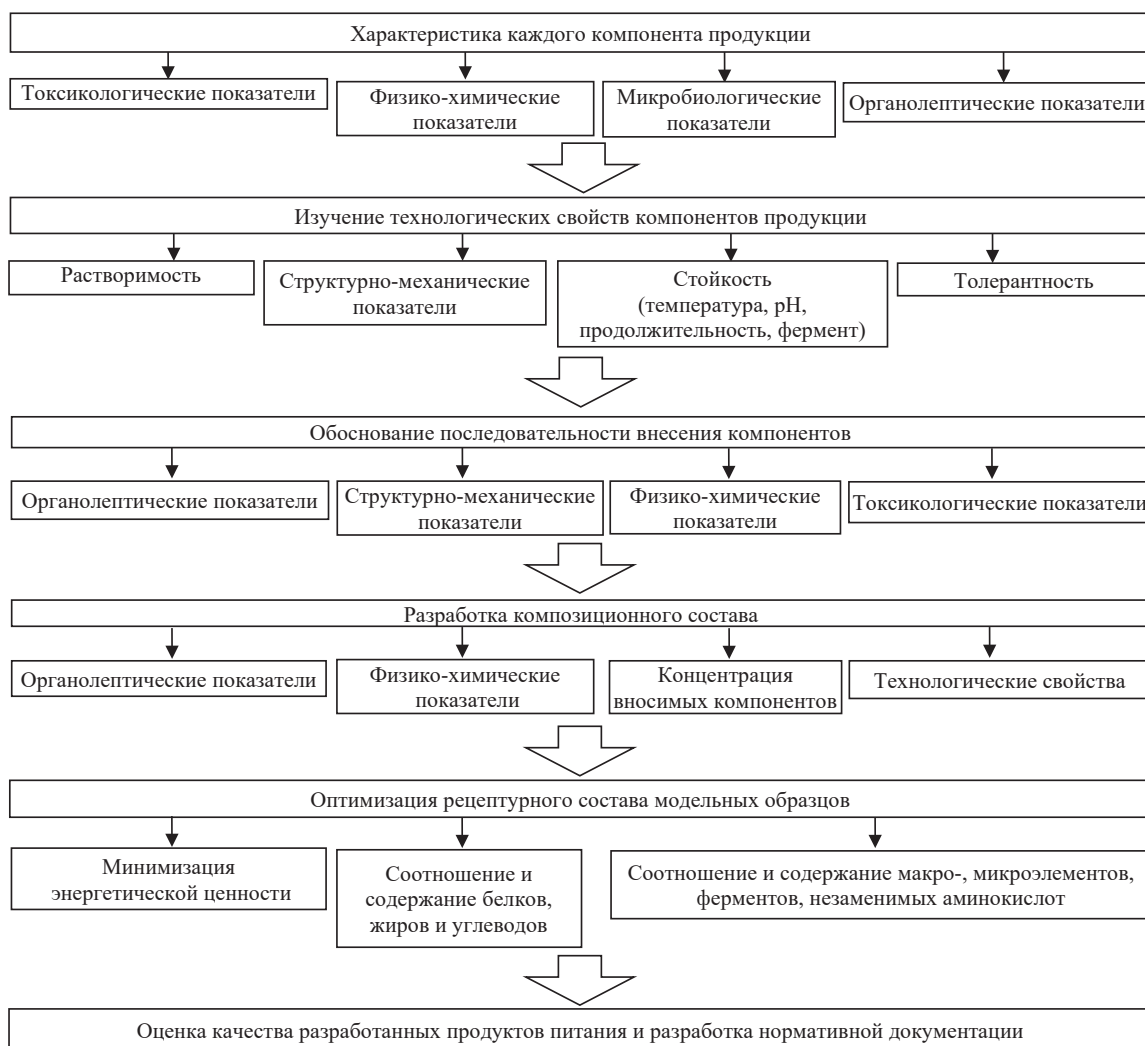


Рисунок 1. Методологические принципы проектирования продуктов питания [33]

Figure 1. Methodological principles of food design [33]

и Е. Б. Сусь алгоритм дополняется стадией расчета витаминного и минерального состава продукта [20]. Однако не ясно, каким именно образом должен производиться системный анализ и подбор ингредиентов рецептуры. В статьях не отражен способ оптимизации структурных и органолептических свойств мясного изделия, что означает неизбежность многократных выработок при разработке продукта.

В. И. Карпов и Н. М. Портнов, придерживаясь такой же позиции разработки пищевой продукции, считают важным соответствие аминокислотного и жирнокислотного составов требованиям, определяемым для каждого конкретного человека. Достижение оптимальных физико-химических показателей производится путем соблюдения соотношений основных пищевых веществ: жир – белок и углеводы – белок. Однако анализ и подбор ингредиентов рецептуры не предполагается [32].

Такой способ применим для разработки пищевой продукции индивидуального питания. Его недостатком можно считать сложность подбора диапазонов изменения показателей качества, эталонов аминокислотного и жирнокислотного составов. Как и в предыдущем случае, оптимизация органолептических показателей достигается посредством многократных выработок.

Р. Г. Разумовская и др. делают акцент на подборе сырья для проектирования продуктов питания. В рамках метода создается система, позволяющая соблюдать определенные соотношения всех компонентов проектируемых продуктов питания (рис. 1) [33].

Авторы считают необходимым определение «толерантности», стойкости, растворимости и последовательности внесения компонентов в продукции. Такое решение позволяет уменьшить число опытных выработок продукции. Метод не предназначен для

оптимизации сырьевой себестоимости и трудоемкости из-за многократного определения органолептических, физико-химических и токсикологических показателей. Остается неясным, каким именно способом производится оптимизация рецептурного состава модельных образцов.

И. А. Трубина и др. адаптируют этот подход для разработки мясной продукции лечебно-профилактической направленности [35]. Авторы обозначают необходимость использования пищевых добавок для обогащения продукта микронутриентами и высокую сложность выявления оптимального сочетания компонентов рецептуры, обеспечивающих требуемый уровень заданных показателей качества. В рамках работы эта задача решается с использованием методов математического планирования, искусственного интеллекта, многомерного шкалирования и кластерного анализа. Отмечается, что эффективного ее решения возможно добиться только с применением современных методов Data Mining.

А. Б. Лисицын и др. отмечают в своей работе, что придание заданных свойств пищевому продукту должно начинаться с определения комплекса приемов, включающих методы обогащения/элиминации, пищевой комбинаторики и оптимизации режимов термообработки (рис. 2) [36].

Перспективными способами получения продуктов направленного действия авторы характеризуют ферментативную тендеризацию и прижизненную модификацию жизнедеятельности и состояния здоровья животных.

С. Ş. Ursachi и др. придерживаются данной стратегии [37]. В то же время они считают наиболее перспективными технологии обработки пищевой продукции ультразвуковым излучением, высоким давлением и холодной плазмой, а также обогащение мясной продукции про- и пребиотиками. На наш взгляд, к этому списку можно причислить радиуриза-

цию и обработку пищевых систем СВЧ-излучением, набирающем популярность при размораживании блочного сырья. Несмотря на обширную методическую и теоретическую базу, широкое внедрение этих технических решений на отечественном мясоперерабатывающем производстве сегодня не представляется возможным. Требуется проведение дополнительных исследований в этой области [38-44].

И. В. Калинина и И. Ю. Потороко предлагают подход, определяющий приоритет вносимых в продукт биологически активных веществ при проектировании обогащенных продуктов питания, в том числе функциональных (рис. 3). Особое значение авторы придают системе доставки и анализу механизмов химических превращений микронутриентов во всех структурных элементах пищевой матрицы в процессе технологической обработки, хранения и попадания в организм человека, а также моделированию продвижения разрабатываемой продукции на рынке. Первостепенным в рамках методологии является необходимость установления эффективности обогащенного пищевого продукта, что сопряжено с высокими экономическими издержками [22].

В качестве одной из ключевых задач статьи обозначается обеспечение химической и физиологической совместимости всех ингредиентов композиции. Это достигается путем оценки биодоступности и биоактивности БАВ в продукте. Для этого необходимо определить ингредиентный состав, но составление рецептуры происходит на заключительной стадии методологии. Следовательно, при оптимизации рецептуры предполагается выбрать вариант разработанной рецептуры либо модифицировать установленную (базовую) рецептуру. Это является основным недостатком метода.

Метод можно считать эффективным при разработке индивидуального питания. Однако нельзя утверждать применим ли он при разработке продукции

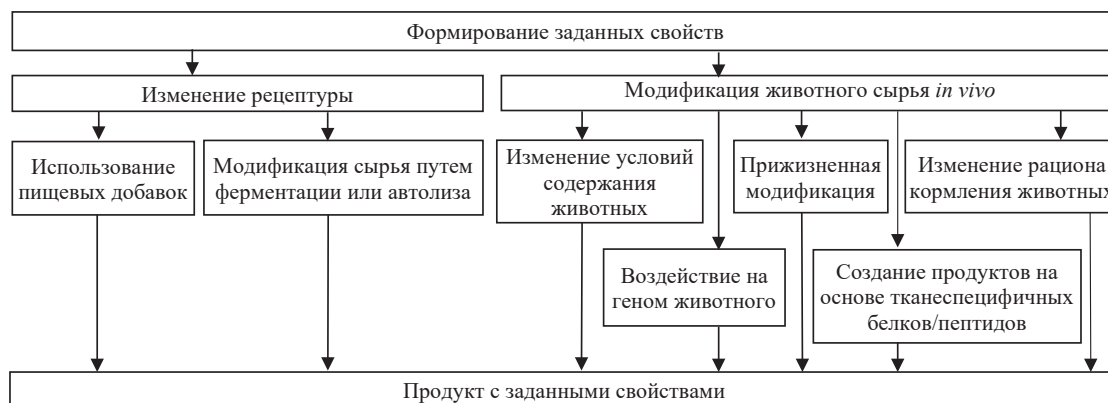


Рисунок 2. Разработка продуктов питания на мясной основе с заданными свойствами [36]

Figure 2. Developing meat products with preset properties [36]

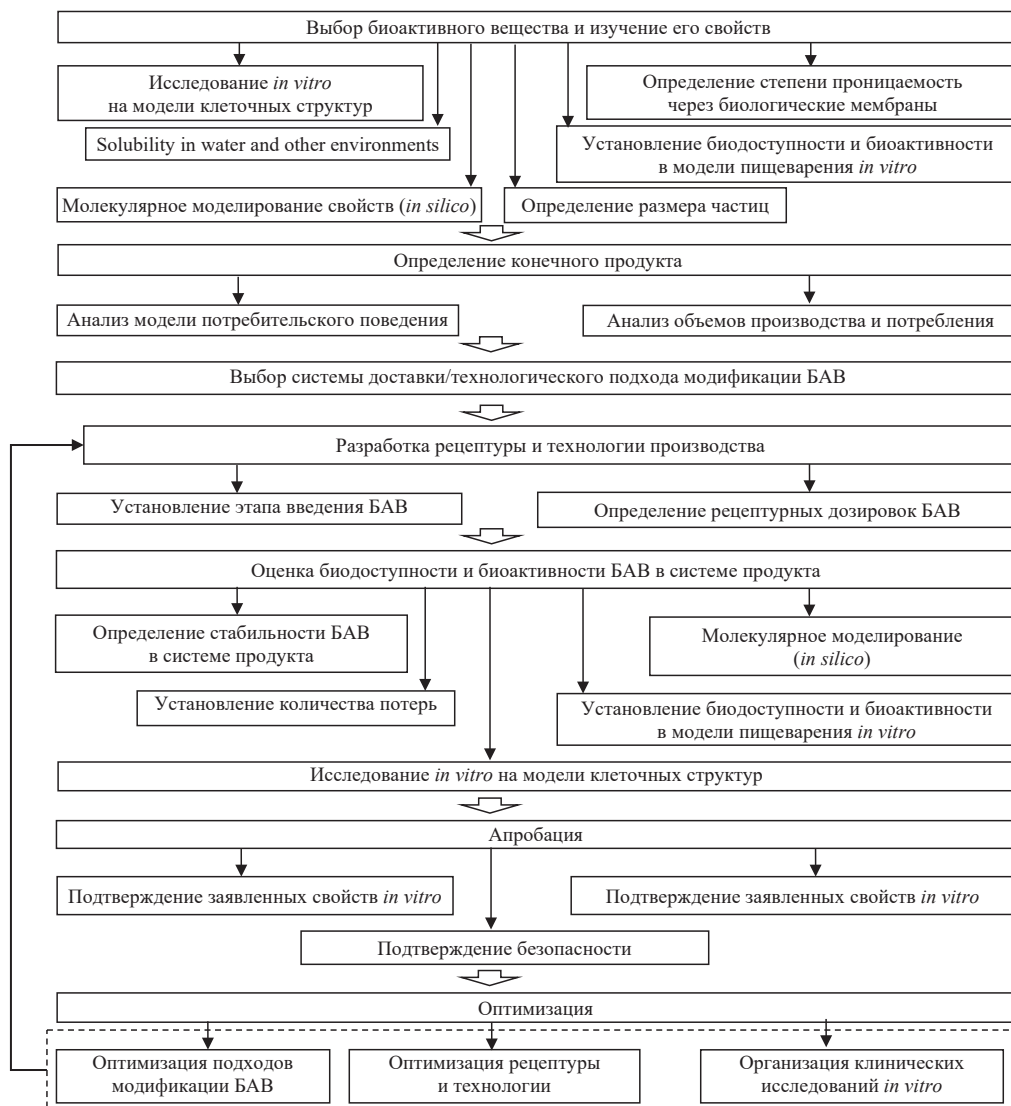


Рисунок 3. Методология интегрированного подхода производства продуктов для здорового питания с доказанной эффективностью [22]

Figure 3. Methodology of integrated approach to healthy food production with proven effectiveness [22]

массового потребления из-за дороговизны ввиду необходимости многократных выработок и анализов продукции. Кроме того, авторами не разъясняется, каким именно образом должна выполняться оптимизация структурных и органолептических свойств, а также сырьевой себестоимости продукта.

По мнению А. С. Дыдыкина, физиологическая адекватность продукта потребностям организма человека может быть обеспечена оценкой нутриентного потенциала сырья и материалов, их подготовкой и разработкой функциональных ингредиентов. Формирование нутриентного профиля продукта выполняется с учетом биологической ценности рациона питания. Методология создания функциональных мясных продуктов изображена на рисунке 4 [34].

S. J. Sijtsema и др. и S. I. Saguy и P. S. Taoukis линейному подходу к разработке продукции противопоставляют циклический, в соответствии с которым должно происходить непрерывное взаимодействие с потребителями и совершенствование продукта [45, 46]. Такой подход позволяет выявить реальное восприятие продукта потребителем и избавиться от фактора субъективности, также подразумевает оптимизацию потребительских свойств, но не обязательно биологической ценности. При попадании на рынок продукта, не пользующегося спросом, или при отсутствии отзывов покупателей у производителя не будет информации для совершенствования своего продукта.

М. А. Никитина учла эти возможные недостатки, ориентируясь свой метод на конкретного потребителя

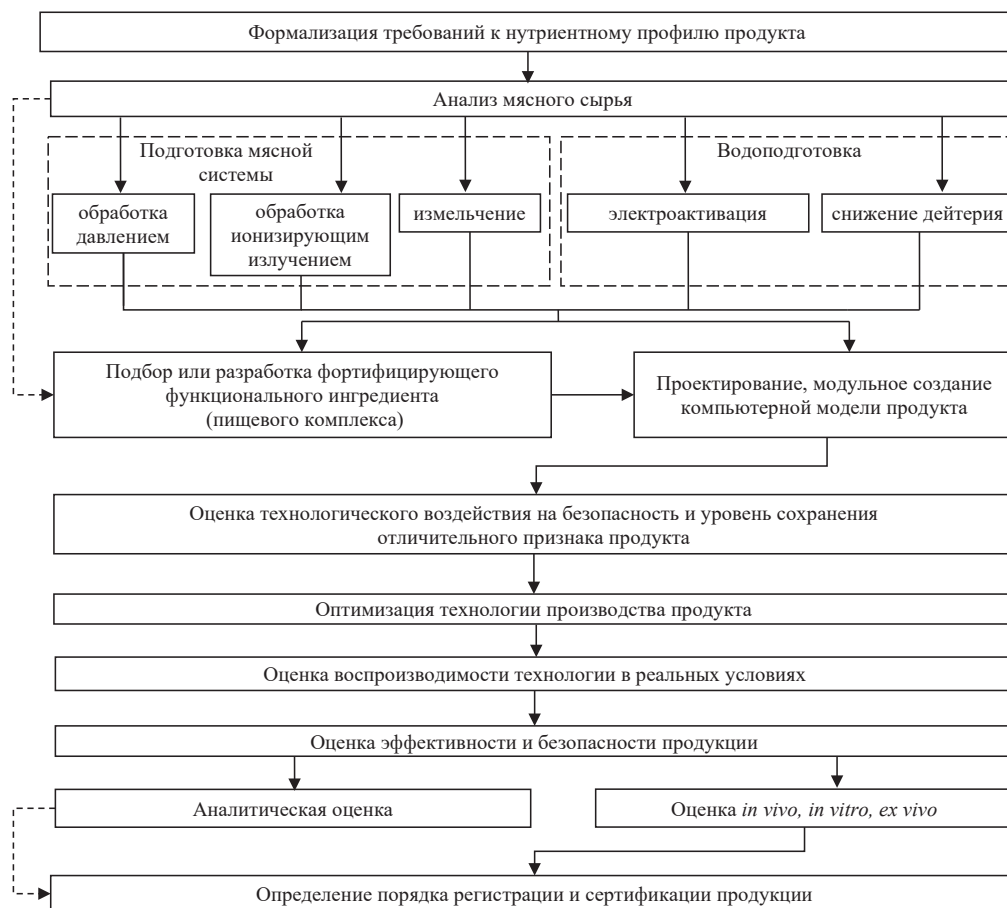


Рисунок 4. Методология создания функциональных мясных продуктов [33]

Figure 4. Methodology of functional meat products development [33]

или целевую группу [12]. Разработка продуктов питания должна идти совместно с разработкой рационов, независимо от их назначения (рис. 5).

Метод подразумевает оптимизацию структурно-механических и функционально-технологических показателей пищевой системы. По мнению автора, поиск оптимальных решений задач проектирования продуктов питания следует выполнять, используя математические модели, которые отражают функциональные связи физико-химических, технологических, экономических и других показателей сырьевых ингредиентов и готовой продукции. Проектирование пищевого продукта производится с построением «цифрового двойника», предполагающего проектирование структурных форм пищевого продукта с обязательным использованием фактических значений показателей: функционально-технологических свойств основного сырья, вспомогательных материалов и ингредиентов, кинетики протекания биохимических и коллоидно-химических процессов в пищевых системах, которые характеризуют основные закономерности поведения пищевых систем при изме-

нении физико-химических факторов. Энергетическая ценность, содержание влаги, жира, углеводов, витаминов, микроэлементов и белка, показатели его биологической ценности в проектируемом продукте определяются в результате работы соответствующего компьютерного программного обеспечения. Выбрать оптимальный вариант рецептуры автор считает возможным при «разыгрывании» различных ситуаций в виртуальном пространстве с помощью цифровой (компьютерной, математической) модели пищевого продукта.

Такой подход перспективен и не требует опытных выработок продукции. В то же время он характеризуется необходимостью постоянного сбора фактической информации о качественных показателях сырья, использования программного обеспечения, интегрированного в корпоративную информационную сеть, требует наличия обширной базы данных и информации о кинетике протекания биохимических и коллоидно-химических процессов.

Обоснование использования персонализированного подхода к конструированию продуктов питания

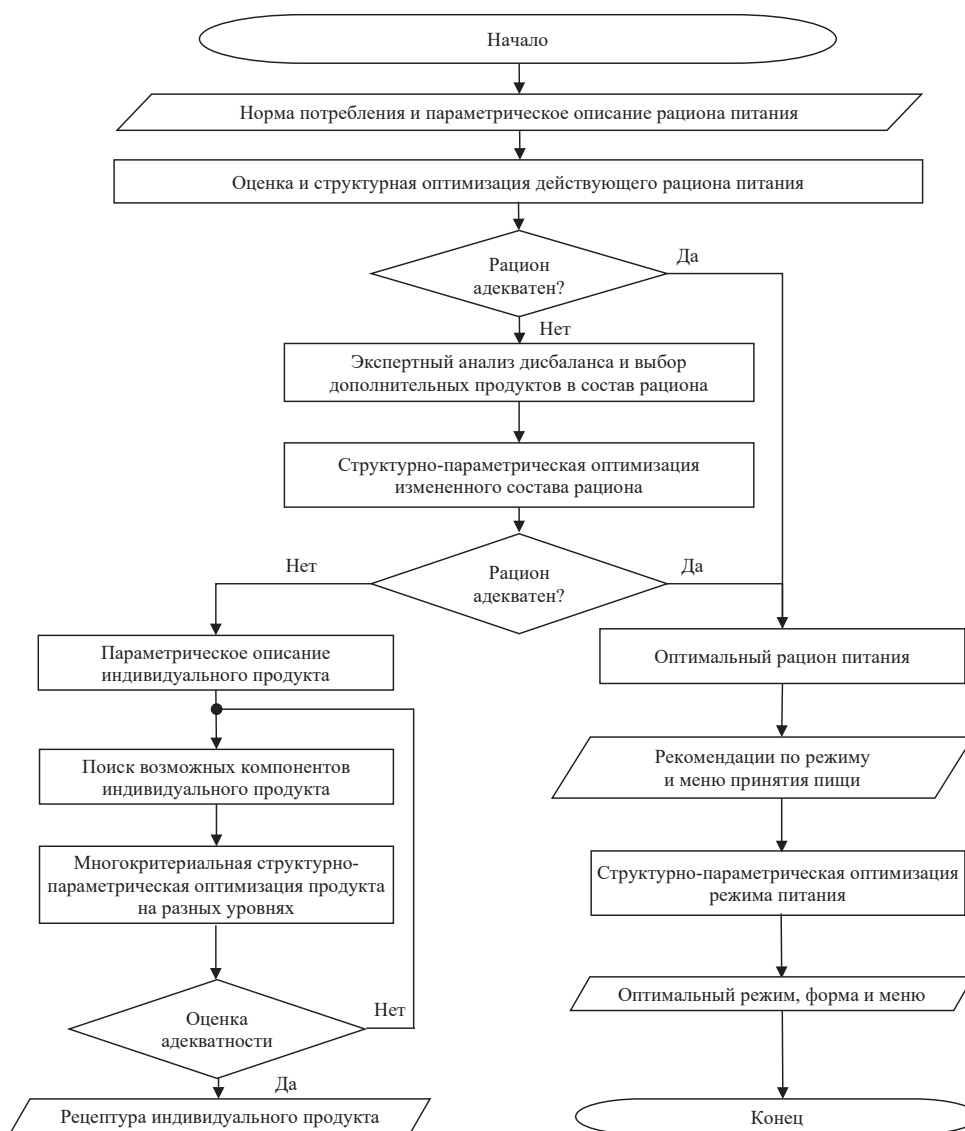


Рисунок 5. Диалоговый алгоритм структурно-параметрической оптимизации [12]

Figure 5. Algorithm for structural-parametric optimization [12]

также прослеживается в работах [47, 48, 49]. В них описывается новая научная отрасль «-omic science», включающая нутригеномику, нутригеномику и протеомику, изучается взаимосвязь возникновения заболеваний алиментарной природы с изменениями генотипа и пищевых предпочтений человека, влияние различных веществ на экспрессию генов. Обозначается важность использования результатов нутригеномического тестирования при разработке пищевой продукции.

Выводы

Целостное понимание поведения многокомпонентных мясных систем возможно только при расчете всего комплекса показателей качества, что

требует использования современных программных средств. Именно от них зависит реализация потенциала практического применения методов проектирования рецептур мясной продукции. Наблюдаемый дефицит отечественного программного обеспечения тормозит внедрение технологических решений для составления рецептур мясных продуктов, что связано с оттоком из страны IT-специалистов.

Достижение высокого уровня точности прогнозирования качественных показателей готовой продукции при разработке мясной продукции невозможно без наличия информации о физико-химических, технологических и других показателях, которые характеризуют основные закономерности поведения гетерогенных дисперсных мясных систем, а также

функциональных связей между ними. Такого рода информацию возможно собирать в режиме реального времени либо использовать имеющиеся наборы данных. Первое сопряжено с организацией тщательного входного контроля сырья как внутри производства, так и в рамках сотрудничества со сторонними организациями. Это понизит рентабельность производимой продукции. В этом случае рационально использовать программное обеспечение, интегрированное в корпоративную информационную сеть. Второе – пока невозможно, т. к. наборы данных отсутствуют в общем доступе либо содержат неполную информацию о сырье. Решением данной проблемы может служить разработка оборудования для проведения экспресс-анализов с использованием передовых информационных технологий: искусственного интеллекта или динамического анализа изображений и создание общедоступной базы данных со свободным доступом к дополнению контента, аналогичной Wikipedia.org. В этом случае даже небольшие мясные цеха будут иметь доступ к эффективным

методам моделирования рецептур мясных продуктов. Это позволит им быть конкурентоспособными не только на отечественном, но и мировом рынках.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи.

Contribution

The authors were equally involved in writing the manuscript and are responsible for any potential cases of plagiarism or self-plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Grahl S, Palanisamy M, Strack M, Meier-Dinkel L, Toepfl S, Morlein D. Towards more sustainable meat alternatives: How technical parameters affect the sensory properties of extrusion products derived from soy and algae. *Journal of Cleaner Production*. 2018;198:962–971. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.041>
2. Danilov YuD, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Zlobina EYu, Slozhenkina AA, Mosolova DA. Studying the opportunity of extruded nute and wheat use in sausage products technology of increased biological values. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2018;50(2):257–270. (In Russ.). [Изучение возможности использования экструдированных нута и пшеницы в технологии колбасных изделий повышенной биологической ценности / Ю. Д. Данилов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. Т. 50. № 2. С. 257–270.]. <https://elibrary.ru/VOQSFJ>
3. Rodionova NS, Shchetilina IP, Korotkova KG, Cholin VA, Cherkasova NS, Torosyan AO. Prospects for the use of pulses in innovative technologies for functional food products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020;82(3):153–163. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-153-163>
4. Kandyli P, Kokkinomagoulos E. Food applications and potential health benefits of pomegranate and its derivatives. *Foods*. 2020;9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020122>
5. Monteiro GC, Minatel IO, Junior AP, Gomez-Gomez HA, de Camargo JPC, Diamante MS, *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacity of grape pomace flours. *LWT*. 2021;135. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110053>
6. Ubbink J. Materials science approaches towards food design. In: Bhandari B, Roos YH, editors. *Food materials science and engineering*. Blackwell Publishing Ltd; 2012. pp. 177–203. <https://doi.org/10.1002/9781118373903.ch7>
7. Kaur R, Sharma M. Cereal polysaccharides as sources of functional ingredient for reformulation of meat products: A review. *Journal of Functional Foods*. 2019;62. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103527>
8. Han M, Bertram HC. Designing healthier comminuted meat products: Effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system. *Meat Science*. 2017;133:159–165. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.001>
9. Zolotin AYU, Simonenko SV, Antipova TA, Felik SV, Simonenko ES, Sedova AE. Food development methodology. *Food Industry*. 2019;11:50–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10177>
10. Statsenko ES, Kodirova GA. Development of recipes for enriched food concentrates for the second course using multivariate analysis. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2021;35(4):72–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10412>
11. Aggett PJ. Dose-response relationships in multifunctional food design: Assembling the evidence. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2012;63(1):37–42. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.636344>
12. Nikitina MA. Integration of digital technologies in the decision-making process in the development of food products with preset composition and properties. Dr. eng. sci. diss. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2020. 265 p.

(In Russ.). [Никитина М. А. Интеграция цифровых технологий в процесс принятия решений при разработке пищевых продуктов заданного состава и свойств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. М., 2020. 265 с.]. <https://elibrary.ru/ZLLFOA>

13. Lipatov NN. Theory and practice of designing food systems based on the phenomenological approach. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 1990;6:5–10. (In Russ.). [Липатов Н. Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1990. № 6. С. 5–10.]. <https://elibrary.ru/PZMWCD>

14. Nikitina MA, Sus EB, Zavgorodneva DV. Information technologies in development of multicomponent meat products taking into account biological value. *Vsyo o Myase*. 2014;(4):48–51. (In Russ.). [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.]. <https://elibrary.ru/SMEQUT>

15. Lisitsyn AB, Nikitina MA, Zakharov AN, Sus EB, Nasonova VV, Lebedeva LI. Prediction of meat product quality by the mathematical programming methods. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2016;1(1):75–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-1-75-90>

16. Lisin PA, Moliboga EA, Voronova TD, Savelyeva YuS, Kister IV. The compositional design of multicomponent foodstuff. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013;118(12):42–46. (In Russ.). [Композиционное проектирование поликомпонентных продуктов питания / П. А. Лисин [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2013. Т. 118. № 12. С. 42–46.]. <https://elibrary.ru/RPRXLL>

17. Fiszman S, Varela P. The satiating mechanisms of major food constituents – An aid to rational food design. *Trends in Food Science and Technology*. 2013;32(1):43–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.006>

18. Derevitskaya OK, Dydykin AS, Aslanova MA, Sergeev VN, Zokhrabyan PR. Development of a meat-based product for enteral nutrition. *Problems of Nutrition*. 2018;87(3):51–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10031>

19. Farouk MM, Yoo MJY, Hamid NSA, Staincliffe M, Davies B, Knowles SO. Novel meat-enriched foods for older consumers. *Food Research International*. 2018;104:134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.033>

20. Nikitina MA, Sus EB. Information system of design of foodstuff. *Vsyo o Myase*. 2015;(1):36–39. (In Russ.). [Никитина М. А., Сусь Е. Б. Информационная система проектирования пищевых продуктов // Все о мясе. 2015. № 1. С. 36–39.]. <https://elibrary.ru/TJZFAL>

21. Neburchilova NF, Petrunina IV. Principles of determination of value in use for meat and meat products based on quality indicators — the coefficients of consumer properties. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2016;1(3):81–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-3-81-95>

22. Kalinina IV, Potoroko IYu. Methodological approaches to creation of enriched food products with proven efficiency. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2019;7(1):5–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/food190101>

23. Nugmanov AKh-Kh. Theory and practice of designing food systems based on the phenomenological approach. Dr. eng. sci. diss. Krasnodar: Kuban State Technological University; 2017. 523 p. (In Russ.). [Нугманов А. Х.-Х. Теория и практика проектирования пищевых систем на основе феноменологического подхода: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Краснодар, 2017. 523 с.]. <https://elibrary.ru/RCSVNP>

24. Semipyatnyy VK. Principles of meta-analytical decomposition in the formation of digital identification profiles of food systems. Dr. eng. sci. diss. Moscow: V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS; 2021. 345 p. (In Russ.). [Семипятный В. К. Принципы мета-аналитической декомпозиции при формировании цифровых идентификационных профилей пищевых систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. М., 2021. 345 с.].

25. Donskikh NV, Muratova EI, Tolstykh SG, Leonov DV. Development of an automated information system for the calculation and optimization of food formulations. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2011;320–321(2–3):122–123. (In Russ.). [Разработка автоматизированной информационной системы для расчета и оптимизации рецептур / Н. В. Донских [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. Т. 320–321. № 2–3. С. 122–123.]. <https://elibrary.ru/NVWAIZ>

26. Cazarin CBB, Bicas JL, Marostica Junior MR. 1st international congress bioactive compounds 2018 – Food design and health nutrition. *Food Research International*. 2020;134. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109224>

27. Oliviero T, Fogliano V. Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;51:58–64. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.008>

28. Konishi Y. Food design system for sea foods based on functionality and texture. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 2008;74(2):257–258. <https://doi.org/10.2331/suisan.74.257>

29. Nikiforova AP, Damdinova TTs. Quality assessment of meat products by digital image processing. *Production Quality Control*. 2019;(3):32–38. (In Russ.). [Никифорова А. П., Дамдинова Т. Ц. Оценка качества мясных продуктов методом цифровой обработки изображений // Контроль качества продукции. 2019. № 3. С. 32–38.]. <https://elibrary.ru/YYFBOX>

30. Nikiforova AP, Damdinova TTs, Stolyarova AS. The study of organoleptic properties of fish products with the use of digital images processing. *The Bulletin of ESSTUM*. 2018;71(4):135–142. (In Russ.). [Никифорова А. П., Дамдинова Т. Ц., Столярова А. С. Изучение органолептических свойств рыбных продуктов с применением методов цифровой обработки изображений // Вестник ВСГУТУ. 2018. Т. 71. № 4. С. 135–142.]. <https://elibrary.ru/AVWACY>

31. Damdinova TTs, Nikiforova AP, Prudova LYu, Bubeev IT. The use of digital image processing methods to determine the moisture-binding capacity of meat and fish products. *Software Systems and Computational Methods*. 2019;(3):20–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.3.30646>
32. Karpov VI, Portnov NM. Optimization of the recipe composition of a food product. System analysis in design and management: Proceedings of the XXIV International Research and Academic Conference; 2020; St. Petersburg. St. Petersburg: Politekh-Press; 2020. p. 169–182. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id20-164>
33. Razumovskaja RG, Tsbizova ME, Kilmaev AA. Methodological principles of project of the functional food stuffs. *Food Industry*. 2011;(8):12–14. (In Russ.). [Разумовская Р. Г., Цибизова М. Е., Кильмаев А. А. Методологические принципы проектирования функциональных продуктов питания // Пищевая промышленность. 2011. № 8. С. 12–14.]. <https://elibrary.ru/OHFXXOV>
34. Dydykin AS. Developing scientific and practical foundations for new functional and specialized meat products based on the assessment of technological impact on their quality and safety. Dr. eng. sci. diss. Moscow: V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS; 2022. 379 p. (In Russ.). [Дыдыкин А. С. Развитие научно-практических основ создания функциональных и специализированных мясных продуктов с учетом оценки влияния способов технологического воздействия на их качество и безопасность: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. М., 2022. 379 с.].
35. Shchedrina TV, Sadovoy VV, Trubina IA. Optimization of the prescription of foods for preventive nutrition. *Modern Science and Innovations*. 2018;24(4):149–157. (In Russ.). <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2018-4-24-149-157>
36. Lisitsyn AB, Chernukha IM, Lunina OI, Fedulova LV. Legislative foundations and scientific principles of developing meat-based functional foods. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;146(12):151–158. (In Russ.). [Законодательные основы и научные принципы создания функциональных пищевых продуктов на мясной основе / А. Б. Лисицын [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. Т. 146. № 12. С. 151–158.]. <https://elibrary.ru/XDRUVP>
37. Ursachi CŞ, Peţa-Crişan S, Munteanu F-D. Strategies to improve meat products' quality. *Foods*. 2020;9(12). <https://doi.org/10.3390/foods9121883>
38. Lebedeva EYu, Kasyanov GI. Innovative technologies for processing combined fish and vegetable raw materials. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2022;74(2):24–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-2-24-30>
39. Krasulya ON, Gurin AV, Skorikov MA, Kazakova EV. A cooked smoked sausage technology with the use of sonochemical effects to intensify raw material curing. *Meat Industry*. 2021;(6):37–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-06-37-41>
40. Minaev MYu, Mahova AA, Pchelkina VA. Production of recombinant metalloprotease of use for meat industry. *Food Industry*. 2019;(1):64–68. <https://elibrary.ru/YXHXR>
41. Ryazantseva AO. Sausage breads and chopped semi-finished meat products with improved consumer properties based on protein-carbohydrate plant compositions. Cand. eng. sci. diss. Moscow: K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management; 2019. 215 p. (In Russ.). [Рязанцева А. О. Проектирование колбасных хлебов и мясных рубленых полуфабрикатов с улучшенными потребительскими характеристиками на основе белково-углеводных растительных композиций: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15. М., 2019. 215 с.]. <https://elibrary.ru/WMNLEB>
42. Ayyash M, Liu S-Q, Al Mheiri A, Aldaheri M, Raesi B, Al-Nabulsi A, *et al.* *In vitro* investigation of health-promoting benefits of fermented camel sausage by novel probiotic *Lactobacillus plantarum*: A comparative study with beef sausages. *LWT*. 2019;99:346–354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.084>
43. Tikhonov SL, Tikhonova NV, Moskalenko NYu, Kudryashova OA, Kudryashov LS. Development of a device for increasing the storage duration of food products by processing with low-temperature gas plasma. *Polzunovskiy Vestnik*. 2021;(1):74–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.010>
44. Karpov VI, Krasulia ON, Tokarev AV. Artificial intelligence in a technological production system of the set quality. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2017;79(1):106–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-106-113>
45. Sijtsema SJ, Fogliano V, Hageman M. Tool to support citizen participation and multidisciplinary in food innovation: Circular food design. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020;4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.582193>
46. Saguy S, Taoukis PS. From open innovation to *enginomics*: Paradigm shifts. *Trends in Food Science and Technology*. 2017;60:64–70. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.008>
47. Di Renzo L, Gualtieri P, Romano L, Marrone G, Noce A, Pujia A, *et al.* Role of personalized nutrition in chronic-degenerative diseases. *Nutrients*. 2019;11(8). <https://doi.org/10.3390/nu11081707>
48. Prosekov AYU. The methodology of food design. Part 1. The individual aspect. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2020;5(4):13–17. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-4-13-17>
49. Prosekov AYU, Vesnina AD, Kozlova OV. The methodology of food design. Part 2. Digital nutritiology in personal food. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2021;6(4):328–334. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-4-328-334>