

## Проектирование рецептур с помощью искусственного интеллекта

*Фролов Д.И., Сергеева М.А.*

**Аннотация.** В статье дан обзор современных средств проектирования рецептур с помощью искусственного интеллекта. Способность понимать, привлекать внимание и преобразовывать потребительские требования в химические и физические свойства конечного продукта остается одной из самых больших проблем в пищевой промышленности. В результате необходимы новые способы поддержки проектирования продуктов питания. Современные приложения в разработке пищевых продуктов с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения, включая доступные ресурсы, а также их связь с концепцией обратного проектирования дают новые возможности для разработки новой концепции проектирования пищевых продуктов. Разработка и составление рецептов пищевых продуктов включают в себя сложные процессы, и при разработке подходов, основанных на генерации рецептур, необходимо учитывать множество проектных параметров. Большинство выявленных подходов основано на взаимосвязи между ингредиентами, а функциональным свойствам уделяется меньше внимания. Представление данных остается реальной проблемой и очень важным исследовательским пробелом на пути к созданию реальной и применимой концепции цифрового проектирования продуктов питания, а наиболее часто используются общие методы, основанные на глубоком обучении.

**Ключевые слова:** рецептура, проектирование, искусственный интеллект, нейросеть, функциональный продукт.

**Для цитирования:** Фролов Д.И., Сергеева М.А. Проектирование рецептур с помощью искусственного интеллекта // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 2. С. 37–43.

## Recipe design using artificial intelligence

*Frolov D.I., Sergeeva M.A.*

**Abstract.** The article provides an overview of modern recipe design tools using artificial intelligence. The ability to understand, capture attention and translate consumer requirements into the chemical and physical properties of the final product remains one of the biggest challenges in the food industry. As a result, new ways to support food design are needed. Modern applications in food development using artificial intelligence and machine learning, including available resources, and their relationship with the concept of reverse engineering, provide new opportunities for the development of a new concept in food design. Food product development and formulation involve complex processes, and many design parameters must be considered when developing formulation generation approaches. Most of the approaches identified are based on the relationships between ingredients, with less emphasis on functional properties. Data representation remains a real challenge and a very important research gap towards creating a feasible and applicable concept for digital food design, and the most commonly used general methods are those based on deep learning.

**Keywords:** recipe, design, artificial intelligence, neural network, functional product.

**For citation:** Frolov D.I., Sergeeva M.A. Recipe design using artificial intelligence. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 2. pp. 37–43. (In Russ.).

## Введение

Способность понимать, привлекать внимание и преобразовывать идеи потребителей в химические и физические параметры конечного продукта является самой большой проблемой в пищевой промышленности [1]. Инновации и обновление рецептов пищевых продуктов являются очень сложными процессами, включающими многофакторные процессы, использование нескольких ингредиентов и различных условий обработки [2].

Разработка потребительских товаров требует одновременного учета целей, ограничений и состава продуктов [3]. Традиционно идеи продукта концептуализируются на основе его функциональности, что приводит к получению подробной информации, используемой для определения спецификаций рецептов и использовании потенциального сырья со свойствами, которые максимизируют функциональность продукта [4]. Затем с учетом конструктивных ограничений выбирается набор производственных процессов. Этот подход имеет недостатки из-за стоимости экспериментов. Разница между ожидаемыми свойствами и свойствами, достигнутыми в изготовленном изделии, регулируется с помощью дополнительных итераций и повторений процесса проектирования для достижения оптимальной разработки рецептуры.

Обратное проектирование рецептур — это процесс, который начинается с желаемых функциональных возможностей и систематически сужает варианты для поиска оптимального материала для синтеза с заданными функциями [5].

Пищевые материалы имеют множество типов сложных структур, таких как эмульсии, гели, порошковые порошки и т. д. Характеристики пищевых материалов определяются физико-химическими свойствами составляющих их компонентов, а также их внутренней пространственной организацией (т. е. пищевой структурой). Следовательно, разра-

ботка пищевых продуктов также подвержена воздействию большого количества переменных, т. е. состава, структуры, свойств, применения, этапов приготовления, срока годности, что приводит к большому количеству возможностей. Сложное взаимодействие между всеми этими переменными делает разработку продуктов питания, основанную на фундаментальных законах, традиционном компьютерном моделировании и экспериментах, сложной задачей. В свою очередь доступность источников данных о продуктах питания становится все более доступной [6], и наука о пищевых материалах может извлечь выгоду по внедрению искусственного интеллекта (AI) для разработки рецептов продуктов питания.

Цель исследования - рассмотреть применение методов, основанных на искусственном интеллекте, в разработке рецептов пищевых продуктов и их потенциал для поддержки разработки новых пищевых продуктов.

Конечная цель разработки новых продуктов — удовлетворить требования, связанные с затратами, временем, качеством, безопасностью, сроком годности и потребностями потребителей. Следовательно, аналогичную методологию проектирования можно применять к различным продуктам, включая пищевые продукты [7]. Однако процесс проектирования сложен из-за большого количества факторов, влияющих на достижение оптимальной разработки при выполнении целевых требований.

Традиционные подходы к разработке продуктов питания основаны на рациональных основах проектирования, в которых используются методологии проб и ошибок. В результате эти подходы часто являются дорогостоящими как с точки зрения времени, так и с точки зрения затрат [7]. Структура рационального проектирования пищевых продуктов включает в себя несколько последовательных этапов, как показано на рисунке 1. Сначала определяется идея питания, а затем следует концептуаль-



Рис. 1. Иллюстрация принципов традиционной разработки продуктов

лизация для определения критериев оптимального продукта. Затем следует проверка идей, составление спецификаций разработки, а также оптимизация. Из-за итеративного характера этого подхода любой сбой на этапе может вернуть процесс проектирования на предыдущие этапы, что приведет к неопределенным итерациям до тех пор, пока не будут достигнуты желаемые функциональные возможности продукта. Иногда удача также может сыграть роль в процессе проектирования, особенно в подходах, где инициализация процесса проектирования имеет решающее значение для достижения оптимальных решений [8]. Более того, культура как разработчиков, так и потребителей является фактором, который может существенно повлиять и ограничить процесс разработки новых пищевых формул и продуктов.

Недавно были разработаны структуры обратного проектирования с целью полностью изменить традиционную парадигму процесса проектирования. Эти структуры начинаются с определения желаемых функциональных возможностей разрабатываемого продукта (исходные данные структуры обратного проектирования) и заканчиваются оптимальной структурой, которая максимизирует желаемые функциональные возможности вновь разработанного продукта (выходные данные структуры обратного проектирования) [9]. Эта концепция требует надежных стратегий моделирования для понимания сложных взаимосвязей между входными и выходными данными процесса проектирования. Из-за большого количества задействованных переменных проектирования эти стратегии моделирования часто выходят за рамки человеческих возможностей. По сравнению со структурой рационального традиционного проектирования, структура обратного проектирования может обеспечить лучшее понимание пространства проектирования и поддержать механизмы принятия решений. Это также позволяет использовать знания экспертов для направления процесса к оптимальному проектированию, особенно если количество проектных параметров очень велико. На рисунках 1 и 2 показаны различия между методологией рационального тра-

диционного проектирования и схемой обратного проектирования с точки зрения разработки и рецептуры пищевых продуктов.

Подходы на основе искусственного интеллекта, такие как алгоритмы машинного и глубокого обучения, являются надежными инструментами для понимания сложных закономерностей и взаимосвязей между входными и выходными данными в любом процессе проектирования при условии, что необходимые данные доступны. Эти алгоритмы можно использовать для поддержки методологии обратного проектирования при проектировании продуктов. Среду обратного проектирования в сочетании с алгоритмами глубокого обучения можно упростить до двух основных компонентов, как показано на рисунке 2: компоненты кодера и декодера. Кодер преобразует входные данные в числовое представление. Например, рецепт торта, включающий текст с ингредиентами, инструкцией и количеством, переводится в числовое представление. Набор этих числовых представлений образует «пространство разработки» (например, пространство разработки торта, включая числовое представление тысяч рецептов тортов). Декодер переводит это числовое представление в формат, аналогичный входным, например, в рецепт. Основная идея заключается в одновременной разработке (или обучении) кодера и декодера таким образом, чтобы новое пространство можно было использовать в качестве пространства проектирования, представляющего переменные проекта. Это можно использовать для обнаружения оптимальных или новых ресурсов, которые будут использоваться в качестве кандидатов для производства или изготовления.

### Обзор применения подходов на основе искусственного интеллекта в разработке продуктов питания

Включение подходов искусственного интеллекта в процесс проектирования пищевых продуктов может значительно ускорить этот процесс и создать более комплексное и новое пространство для разработки. Этого включения можно достичь с помощью методов



Рис. 2. Иллюстрация принципов обратного проектирования для проектирования и приготовления пищевых продуктов

исследования пространства проектирования, например прогнозирования свойств и функциональности продукта в процессе проектирования [10], или генеративных методов, которые изучают пространство разработки и генерируют новые продукты с желаемой функциональностью [11].

Уделяется внимание применению машинного обучения для помощи в оценке проектного пространства для определения оптимального состояния. Был предложен метод с гибридным моделированием, в котором пространство проектирования включало ингредиенты, количества и условия приготовления, извлеченные из рецептов шоколадного печенья. В их методологии проектирования использовалась модель машинного обучения для прогнозирования сенсорной оценки, предоставленной потребителями, на основе атрибутов в пространстве разработки [10]. Пространство разработки было исследовано с использованием генетического алгоритма, который определил комбинацию ингредиентов и условий приготовления, что максимизировало сенсорные оценки, прогнозируемые алгоритмом машинного обучения. Ограничения для генетического алгоритма определялись механическими моделями (например, степенью коричневого цвета печенья). Хотя этот подход обеспечивает связь между приготовлением пищи и восприятием ее потребителями, пространство проектирования ограничено исследуемыми условиями, и авторы предлагают, чтобы оптимальное решение, полученное с помощью алгоритма, было протестировано на потребителях, а ограничения при необходимости корректировались.

Другими исследователями было сформировано пространство разработки тридцатью шестью различными комбинациями источника йогурта и периода хранения. Каждая точка этого пространства была представлена 22 сенсорными атрибутами, оцененными группой экспертов. С помощью алгоритма машинного обучения стало возможным исследовать пространство разработки на основе сенсорных атрибутов и оценить предпочтительные комбинации и ключевые сенсорные атрибуты, определяющие этот выбор.

Аналогичным образом исследователи [12] объединили механистическое моделирование и машинное обучение для оптимизации толщины замороженных пищевых продуктов, пригодных для использования в микроволновой печи. Результаты показали, что подход, основанный на машинном обучении, обладает способностью и надежностью для получения оптимального значения толщины с повышенной эффективностью на 62,1% по сравнению с 45,9% при использовании традиционных подходов.

Еще одна исследуемая область — рекомендации новых рецептов на основе набора данных известных рецептов. Анализ сочетания продуктов питания и вкуса привлек внимание при разработке новых рецептов. Пространство разработки формируется ингредиентами из больших баз данных рецептов и вкусовыми соединениями, присутствующими в этих ингредиентах. Пространство разработки исследуется

путем оценки сходства рецептов на основе присутствия ароматических соединений в ингредиентах [13].

Например, исследователи предложили модель для прогнозирования совместного появления пищевых ингредиентов в рецептах и использовали ее для обнаружения новых сочетаний продуктов, которые можно было бы использовать в новых рецептах [14]. Та же исследовательская группа разработала более сложный подход (с использованием графической модели глубокого обучения) для представления пищевых ингредиентов и рекомендаций по сочетанию продуктов питания, который также включал информацию, связанную с наличием вкусоароматических соединений. В их подходе химические характеристики вкусовых соединений (в основном ароматических молекул) сочетаются с информацией об ингредиентах.

Ученые [15] исследовали разработку рецептов функциональных продуктов питания с учетом профиля питания ингредиентов. Новые рецепты предлагаются на основе сходства рецептов в пространстве разработки, но, в отличие от сочетания вкусов, этот подход включает питательные характеристики нескольких ингредиентов. Хотя сопоставление продуктов питания дает хорошее представление о том, какие ингредиенты можно комбинировать, этот подход не способен создать новые инструкции и процессы для рецепта и по-прежнему во многом зависит от человеческого взаимодействия при разработке рецепта.

Был исследован подход, который фиксирует взаимосвязь между ингредиентами и учитывает контекстную информацию, такую как инструкции по приготовлению [16]. В этом исследовании модель встраивания слов использовалась в качестве основной части методологии искусственного интеллекта для адаптации рецептов блюд для удовлетворения определенных требований, таких как адаптация рецептов невеганских блюд в веганские рецепты при сохранении функциональности рецептов.

Другой подход, используемый для создания пространства разработки, присутствующего в продуктах питания, основан на визуальных свойствах, полученных из изображений и видео. В последнее время этот подход привлек внимание исследователей для широкого спектра приложений, таких как интеллектуальная регистрация продуктов питания, поиск и исследование рецептов, а также представление рецептов блюд [17].

Подходы искусственного интеллекта, такие как алгоритмы машинного и глубокого обучения, представляют собой модели, управляемые данными, которые можно использовать для извлечения и изучения скрытых закономерностей и связей между входными и выходными данными для прогнозирования или представления данных. Таким образом, эти подходы можно использовать для изучения, создания и лучшего понимания пространства проектирования разрабатываемого продукта с целью автоматизации и ускорения процесса проектирования и открытия продуктов. В последнее время новые методологии проектирования, основанные на машинном обучении

и глубоком обучении, предлагаются в качестве надежной технологии, поддерживающей методологию обратного проектирования для проектирования и открытия материалов [18].

Подход обратного проектирования начинается с определения желаемых функций продукта и направлен на создание оптимального дизайна, который максимизирует эти функциональные возможности. Для достижения этой цели необходимы надежные стратегии моделирования для изучения, извлечения и понимания сложных взаимосвязей между входными и выходными данными процесса проектирования и открытия продуктов.

Для пищевых продуктов процессы проектирования и производства включают в себя несколько уровней сложности (например, феноменологические модели, оценка свойств пищевых продуктов, принятие потребителями), и необходимые данные не всегда легко получить. Подход, основанный на данных, можно использовать для решения проблемы сбора большого объема данных для удовлетворения одного из требований (т. е. размера набора данных) подходов на основе ИИ. Существует множество общедоступных ресурсов, связанных с разработкой пищевых продуктов, к которым можно получить автоматический доступ.

Рецепты еды — это общедоступные ресурсы, предоставляющие богатые источники информации для разработки основанных на искусственном интеллекте фреймворков для разработки продуктов питания. Информация в рецепте блюда может включать: 1) Визуальные свойства конечного продукта (например, фотографию блюда); 2) ингредиенты (включая количества и единицы); 3) поток операций как упорядоченный набор инструкций (включая процессы и зависимости между ингредиентами); 4) пищевая ценность; и 5) потребительские предпочтения и функциональные свойства (например, текстура продукта), представленные в отзывах и комментариях потребителей.

Общедоступные ресурсы — это неструктурированные данные, требующие обработки, чтобы их можно было использовать в среде проектирования на основе искусственного интеллекта. Например, комментарии потребителей являются очень важной информацией для оценки функциональных свойств продуктов, таких как вкусовые и текстурные свойства. Эта текстовая информация требует специальной предварительной обработки, чтобы быть информативной и пригодной для любой среды проектирования на основе искусственного интеллекта.

Инверсный дизайн с использованием подхода на основе искусственного интеллекта основан на данных и требует полных и репрезентативных наборов данных. Наиболее распространенным типом базы данных, общедоступной в Интернете, является база данных о составе пищевых продуктов. Базы данных о пищевых продуктах также были разработаны для более конкретных целей, например, в разделе «первые продукты питания» основное внимание уделяется

только детскому питанию, с указанием безопасности пищевых продуктов, рекомендаций по аллергии, рецептов и рекомендуемых вкусовых сочетаний.

Примеры общедоступных ресурсов, которые можно использовать в любых потенциальных средах проектирования, основанных на данных, для разработки и рецептуры продуктов питания: <https://foodb.ca>, <https://www.foodcomposition.co.nz>, <https://solidstarts.com/foods/>, <https://www.nutritionix.com/> и другие. В России это база данных «Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации» (ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»).

Веб-сайты с рецептами и кулинарией — еще один источник данных, к которому можно легко и свободно получить доступ. Эти веб-сайты часто предоставляют важную информацию, такую как списки ингредиентов и их количество, инструкции по приготовлению, профили питания, визуальную информацию, такую как изображения и видео, а также отзывы потребителей, такие как оценки и комментарии. С другой стороны, данные социальных сетей можно использовать для получения важных данных об условиях приготовления и обработки пищевых продуктов. На данный момент кулинарные каналы предоставляют подробную информацию о рецептах блюд, а также отзывы подписчиков. Этот пакет информации очень полезен для открытия новых рецептов блюд и идей, основанных на генеративных моделях.

## Выводы

Способность оценивать, понимать и воплощать требования потребителей в процессы, которые достигают химических и физических свойств, придающих пищевым продуктам желаемую функциональность, остается одной из самых больших проблем в пищевой промышленности. Разработка продуктов питания — одна из тех областей, которая может извлечь выгоду от применения проектирования рецептур, основанной на обратной разработке продуктов питания в сочетании с глубокими генеративными сетями.

В настоящее время растет число приложений, использующих стратегии, основанные на данных, в деятельности, связанной с разработкой продуктов питания. Большая часть исследований продуктов питания посвящена выявлению связи между ингредиентами при составлении рецептов. Меньше внимания уделялось процессу проектирования для достижения желаемых функциональных свойств. Наиболее часто используются методы, основанные на обработке естественного языка, включая подходы, основанные на моделях рекуррентных нейронных сетей.

Наличие больших объемов данных о пищевых продуктах, охватывающих широкий спектр характеристик на разных этапах производства продуктов питания, показывает, что доступность данных не является ограничивающим фактором для применения и развития обратного проектирования и глубо-

ких генеративных сетей для разработки продуктов питания. Перевод этих источников данных в числовое представление для моделирования с помощью глубоких генеративных сетей остается серьезной проблемой.

Несмотря на выявленные пробелы в знаниях, это исследование показывает ряд вспомогательных

возможностей для использования обратного проектирования, искусственного интеллекта и глубоких генеративных сетей при разработке процессов, которые связывают структуру пищи, сенсорные характеристики, обработку пищевых продуктов для улучшения благополучия населения.

## Литература

- [1] Taifouris M. et al. Challenges in the design of formulated products: multiscale process and product design // *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2020. – Т. 27. – С. 1-9.
- [2] Rytz A. et al. Using fractional factorial designs with mixture constraints to improve nutritional value and sensory properties of processed food // *Food Quality and Preference*. – 2017. – Т. 58. – С. 71-75.
- [3] Rivera Gil J. L. et al. Triggers for chemical product design: A systematic literature review // *AIChE Journal*. – 2022. – Т. 68. – №. 4. – С. e17563.
- [4] Ashby M. F., Shercliff H., Cebon D. *Materials: engineering, science, processing and design*. – Butterworth-Heinemann, 2018.
- [5] Moosavi S. M., Jablonka K. M., Smit B. The role of machine learning in the understanding and design of materials // *Journal of the American Chemical Society*. – 2020. – Т. 142. – №. 48. – С. 20273-20287.
- [6] Min W. et al. Applications of knowledge graphs for food science and industry // *Patterns*. – 2022. – Т. 3. – №. 5.
- [7] Aguilera J. M. Rational food design and food microstructure // *Trends in Food Science & Technology*. – 2022. – Т. 122. – С. 256-264.
- [8] Moskowitz H. R., Porretta S., Silcher M. *Concept research in food product design and development*. – John Wiley & Sons, 2008.
- [9] Deng W. et al. Long short-term memory neural network for directly inverse design of nanofin metasurface // *Optics Letters*. – 2022. – Т. 47. – №. 13. – С. 3239-3242.
- [10] Zhang X. et al. Food product design: a hybrid machine learning and mechanistic modeling approach // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2019. – Т. 58. – №. 36. – С. 16743-16752.
- [11] Bai Y., Rong C., Zhang X. Food Pairing Based on Generative Adversarial Networks // *Big Data: 8th CCF Conference, BigData 2020, Chongqing, China, October 22–24, 2020, Revised Selected Papers 8*. – Springer Singapore, 2021. – С. 148-164.
- [12] Yang R., Wang Z., Chen J. An integrated approach of mechanistic-modeling and machine-learning for thickness optimization of frozen microwaveable foods // *Foods*. – 2021. – Т. 10. – №. 4. – С. 763.
- [13] Pecune F., Callebert L., Marsella S. A Recommender System for Healthy and Personalized Recipes Recommendations // *HealthRecSys@ RecSys*. – 2020. – С. 15-20.

## References

- [1] Taifouris M. et al. Challenges in the design of formulated products: multiscale process and product design // *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2020. – Т. 27. – P. 1-9.
- [2] Rytz A. et al. Using fractional factorial designs with mixture constraints to improve nutritional value and sensory properties of processed food // *Food Quality and Preference*. – 2017. – Т. 58. – P. 71-75.
- [3] Rivera Gil J. L. et al. Triggers for chemical product design: A systematic literature review // *AIChE Journal*. – 2022. – Т. 68. – No. 4. – P. e17563.
- [4] Ashby M. F., Shercliff H., Cebon D. *Materials: engineering, science, processing and design*. – Butterworth-Heinemann, 2018.
- [5] Moosavi S. M., Jablonka K. M., Smit B. The role of machine learning in the understanding and design of materials // *Journal of the American Chemical Society*. – 2020. – Т. 142. – No. 48. – pp. 20273-20287.
- [6] Min W. et al. Applications of knowledge graphs for food science and industry // *Patterns*. – 2022. – Т. 3. – No. 5.
- [7] Aguilera J. M. Rational food design and food microstructure // *Trends in Food Science & Technology*. – 2022. – Т. 122. – P. 256-264.
- [8] Moskowitz H. R., Porretta S., Silcher M. *Concept research in food product design and development*. – John Wiley & Sons, 2008.
- [9] Deng W. et al. Long short-term memory neural network for directly inverse design of nanofin metasurface // *Optics Letters*. – 2022. – Т. 47. – No. 13. – pp. 3239-3242.
- [10] Zhang X. et al. Food product design: a hybrid machine learning and mechanistic modeling approach // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2019. – Т. 58. – No. 36. – pp. 16743-16752.
- [11] Bai Y., Rong C., Zhang X. Food Pairing Based on Generative Adversarial Networks // *Big Data: 8th CCF Conference, BigData 2020, Chongqing, China, October 22–24, 2020, Revised Selected Papers 8*. – Springer Singapore, 2021. – pp. 148-164.
- [12] Yang R., Wang Z., Chen J. An integrated approach of mechanistic-modeling and machine-learning for thickness optimization of frozen microwaveable foods // *Foods*. – 2021. – Т. 10. – No. 4. – P. 763.
- [13] Pecune F., Callebert L., Marsella S. A Recommender System for Healthy and Personalized Recipes Recommendations // *HealthRecSys@ RecSys*. – 2020. – pp. 15-20.

- [14] Park D. et al. FlavorGraph: a large-scale food-chemical graph for generating food representations and recommending food pairings //Scientific reports. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 931.
- [15] Lei Z. et al. Composing recipes based on nutrients in food in a machine learning context // Neurocomputing. – 2020. – Т. 415. – С. 382-396.
- [16] Morales-Garzón A., Gómez-Romero J., Martin-Bautista M. J. A word embedding-based method for unsupervised adaptation of cooking recipes //IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – С. 27389-27404.
- [17] Sahoo D. et al. FoodAI: Food image recognition via deep learning for smart food logging //Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. – 2019. – С. 2260-2268.
- [18] Chen C. T., Gu G. X. Generative deep neural networks for inverse materials design using backpropagation and active learning //Advanced Science. – 2020. – Т. 7. – №. 5. – С. 1902607.
- [14] Park D. et al. FlavorGraph: a large-scale food-chemical graph for generating food representations and recommending food pairings //Scientific reports. – 2021. – Т. 11. – No. 1. – P. 931.
- [15] Lei Z. et al. Composing recipes based on nutrients in food in a machine learning context // Neurocomputing. – 2020. – Т. 415. – P. 382-396.
- [16] Morales-Garzón A., Gómez-Romero J., Martin-Bautista M. J. A word embedding-based method for unsupervised adaptation of cooking recipes //IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – P. 27389-27404.
- [17] Sahoo D. et al. FoodAI: Food image recognition via deep learning for smart food logging //Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. – 2019. – pp. 2260-2268.
- [18] Chen C. T., Gu G. X. Generative deep neural networks for inverse materials design using backpropagation and active learning //Advanced Science. – 2020. – Т. 7. – No. 5. – P. 1902607.

## Сведения об авторах

## Information about the authors

<p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b> кандидат технических наук заведующий кафедры «Организация технологических процессов и сервисного обслуживания» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)» 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73 <b>Тел.:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>	<p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b> PhD in Technical Sciences Head of department of «Organization of Technological Processes and Service Maintenance» Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University) <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>
<p><b>Сергеева Мария Алексеевна</b> Преподаватель СПО ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)» 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73 <b>Тел.:</b> +7(963) 102-73-74</p>	<p><b>Sergeeva Maria Alekseevna</b> teacher of secondary vocational education Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University) <b>Phone:</b> +7(963) 102-73-74</p>