

Захаров Г. С., Тимофеева И. А., Буханцева С. Н.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ

Захаров Григорий Сергеевич

аспирант

Университет «Синергия» (Москва, Россия)

ltvp1@rambler.ru

Grigorii S. Zakharov

PhD student

Synergy University (Moscow, Russia)

ltvp1@rambler.ru

Тимофеева Ирина Анатольевна

кандидат биологических наук, доцент

Российский биотехнологический университет (Москва, Россия)

ltvp1@rambler.ru

SPIN 7156-5417

Irina A. Timofeeva

Candidate of Biological Sciences, Associated Professor

BIOTECH University (Moscow, Russia)

ltvp1@rambler.ru

SPIN 7156-5417

Буханцева Светлана Николаевна

кандидат экономических наук, доцент

МИРЭА – Российский технологический университет,

Институт технологий управления (Москва, Россия)

Университет «Синергия» (Москва, Россия)

ltvp1@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8502-3599>

SPIN 3900-8680

Svetlana N. Bukhantceva

Candidate of Economic Sciences, Associated Professor

MIREA - Russian Technological University, Institute of

Management Technologies (Moscow, Russia)

Synergy University (Moscow, Russia)

ltvp1@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8502-3599>

SPIN 3900-8680

В статье представлен обзорный анализ применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в современной пищевой промышленности. Обоснована актуальность внедрения ИИ в контексте глобальных вызовов отрасли, таких как повышение требований к качеству и безопасности продукции, необходимость роста операционной эффективности и тренды на персонализацию питания. Целью работы является систематизация информации о существующих ИИ-решениях и оценка перспектив их развития. На основе анализа актуальных научных публикаций и отраслевых отчетов рассмотрены ключевые направления использования ИИ: контроль качества и безопасности с применением компьютерного зрения и машинного обучения, оптимизация производственных процессов через предиктивное обслуживание и роботизацию, совершенствование управления цепочками поставок за счёт точного прогнозирования спроса и оптимизации логистики, а также разработка новых продуктов. Проанализированы основные преимущества внедрения ИИ, включая повышение производительности, снижение издержек и улучшение качества продукции. Одновременно выявлены существенные барьеры: высокая стоимость, дефицит качественных данных и квалифицированных кадров, организационные и этические сложности. Сделан вывод о стратегической важности ИИ для трансформации пищевой индустрии и необходимости комплексного подхода к его внедрению.

The article presents an overview analysis of artificial intelligence (AI) technologies application in modern food industry. The relevance of introduction of AI in the context of global industry challenges, such as increased requirements for product quality and safety, the necessity to increase operational efficiency, and trends in nutrition personalization, is substantiated. The purpose of the work is to systematize information about the existing AI solutions and assess their development prospects. On the basis of the analysis of current scientific publications and industry reports, the key areas of AI use are considered: quality and safety control with computer vision and machine learning, optimization of production processes through predictive maintenance and robotics, improvement of supply chain management through accurate demand forecasting and logistics optimization, as well as the development of new products. The main advantages of implementing AI are analyzed, including increased productivity, lower costs, and improved product quality. At the same time, significant barriers were identified. They are: high cost, lack of high-quality data and qualified personnel, organizational and ethical difficulties. The conclusion is made about AI strategic importance for transformation of food industry and the necessity for integrated approach to its implementation, including the efforts of business,

включающего усилия бизнеса, науки и государства. Сформулированы предложения по дальнейшему развитию технологий и их интеграции в практику предприятий отрасли.

Ключевые слова: искусственный интеллект, пищевая промышленность, машинное обучение, компьютерное зрение, оптимизация производственных процессов, контроль качества, прогнозирование спроса, цифровая трансформация, Индустрия 4.0, управление цепочками поставок.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в проведение исследования и написание статьи; выразили согласие нести публичную ответственность за все аспекты работы, связанные с точностью или достоверностью любой части рукописи; одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Для цитирования: Захаров Г.С., Тимофеева И.А., Буханцева С.Н. Применение технологий искусственного интеллекта в пищевой промышленности: обзор современных решений и перспектив развития // Форпост науки. 2025. Том 19, № 3. С. 98-109. <https://doi.org/10.22394/sp253.08>. EDN VWWNYL.

science and government. Proposals for further development of technologies and their integration into industry enterprises practice are formulated.

Keywords: artificial intelligence, food industry, machine learning, computer vision, optimization of production processes, quality control, demand forecasting, digital transformation, Industry 4.0, supply chain management

Authors' contribution: All authors contributed equally to the research and writing; agreed to be publicly responsible for all aspects of the work related to the accuracy or integrity of any part of the manuscript; approved the final version of the article before publication.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest requiring disclosure in this article.

For citation: Zakharov G.S., Timofeeva I.A., Bukhantseva S.N. Application of Artificial Intelligence Technologies in Food Industry: a Review of Modern Solutions and Development Prospects. *Science Outpost*, 2025, vol. 19, no. 3, pp. 98-109. Available from: <https://elibrary.ru/VWWNYL>. <https://doi.org/10.22394/sp253.08>.

Введение

Современная пищевая промышленность переживает этап глубокой трансформации, обусловленной комплексом факторов, включая ужесточение требований к качеству и безопасности продукции, необходимость повышения операционной эффективности, глобализацию рынков и растущий спрос на персонализированные и устойчивые продукты питания. В контексте этих вызовов ключевую роль начинают играть цифровые технологии и принципы Индустрии 4.0, среди которых особое место занимает искусственный интеллект (ИИ). Обладая возможностями анализа больших данных, предиктивного моделирования, автоматизации сложных задач посредством машинного обучения и компьютерного зрения, ИИ открывает значительные перспективы для оптимизации производственных процессов, совершенствования контроля качества на всех этапах цепочки создания стоимости, разработки инновационных продуктов и построения эффективных логистических систем.

Несмотря на активное проникновение ИИ-решений в различные сектора экономики, их применение в пищевой индустрии всё ещё характеризуется определённой неравномерностью и недостаточной систематизацией накопленного опыта. Существует явная потребность в комплексном анализе текущего состояния внедрения ИИ, в оценке его реального влияния на производственные и управленческие процессы, а также в определении наиболее перспективных векторов развития этих технологий в специфических условиях отрасли. Настоящая статья представляет собой обзорный анализ современных решений на базе искусственного интеллекта в пищевой промышленности, рассматривает ключевые области их применения, выявляет связанные с этим преимущества и барьеры, а также намечает основные тенденции и перспективы дальнейшего развития, что необходимо для формирования научно обоснованного видения роли ИИ в будущем пищевой индустрии.

Материалы и методы

Научной и теоретической основой настоящего обзорного исследования послужил комплекс актуальных публикаций отечественных и зарубежных авторов, посвящённых разработке, внедрению и оценке эффективности технологий искусственного интеллекта (ИИ) в различных отраслях, с фокусом на пищевую промышленность. При рассмотрении ИИ как ключевого элемента современных производственных систем и цифровой трансформации промышленности в целом исследование опирается на работы В. И. Аверченко и др. [1; 2], М. А. Боровской, М. А. Масыч, Т. В. Федосовой [3], а также группы международных исследователей, рассматривающих перспективы интеграции ИИ с IoT и Big Data в АПК и

пищевой промышленности [4]. Данные работы заложили основы понимания общих принципов и стратегического значения ИИ в контексте Индустрии 4.0.

В основу изучения специфических применений ИИ в пищевой промышленности положен анализ ряда прикладных исследований и обзоров. Возможности и методы использования компьютерного зрения для контроля качества продукции детально рассмотрены в работах [5; 6; 7]. Практические аспекты применения машинного обучения для оценки качества пищевой продукции систематизированы в обзорах [8; 9]. Использование методов машинного обучения для решения задач прогнозирования спроса и оптимизации логистических цепочек, являющихся критически важными для отрасли, опирается на работы Р. С. Рогулина [10; 11], П. И. Толкунова [12], С. Г. Тонконогова [13]. Исследования проблематики и перспектив автоматизации и роботизации технологических процессов с применением технологий ИИ основаны на материалах [14; 15; 16].

Для понимания общей картины и оценки мирового опыта в исследовании использовались международные обзорные работы, посвящённые комплексным цифровым решениям в агропродовольственном секторе [4; 7; 8; 17]. Аспекты экономической эффективности внедрения ИИ-систем, необходимые для оценки целесообразности их применения, рассмотрены на основе материалов Е. В. Ефременко [18]. Это позволяет сформировать представление не только о технологических возможностях, но и об экономических предпосылках и результатах внедрения ИИ.

Результаты и обсуждение

Современная пищевая промышленность находится на пороге глубоких изменений, движимых необходимостью адаптации к глобальным вызовам и новым требованиям рынка. Усложнение цепочек поставок, рост конкуренции, повышенное внимание потребителей к качеству, безопасности и происхождению продуктов питания, а также необходимость устойчивого использования ресурсов формируют запрос на принципиально новые подходы к управлению и производству. В этом контексте технологии искусственного интеллекта (ИИ) перестают быть лишь экспериментальным инструментом и становятся стратегически важным элементом цифровой трансформации отрасли [12]. Интеграция ИИ в производственные и бизнес-процессы рассматривается как ключевой фактор повышения операционной эффективности, гибкости и конкурентоспособности предприятий [14].

Значение ИИ определяется его способностью обрабатывать огромные массивы данных, выявлять скрытые закономерности, делать точные прогнозы и автоматизировать принятие решений на уровнях, ранее недоступных для традиционных систем управления. Как отмечают многие исследователи, синергия ИИ с технологиями интернета вещей (IoT), позволяющими собирать данные с датчиков на оборудовании и по всей логистической цепочке, и большими данными (Big Data) создаёт уникальную возможность для построения интеллектуальных, самообучающихся и адаптивных систем управления в пищевой промышленности [4]. Это позволяет перейти от реактивного реагирования на события (например, поломку оборудования или жалобу потребителя) к проактивному управлению, основанному на прогнозировании и предотвращении нежелательных ситуаций [17].

Способность ИИ решать комплексные задачи определяет его востребованность на всех этапах создания стоимости пищевой продукции. Технологии компьютерного зрения и машинного обучения радикально меняют подходы к контролю качества и безопасности [5; 11; 12; 17]. Алгоритмы оптимизации и предиктивной аналитики позволяют существенно повысить эффективность использования производственных мощностей и ресурсов [1; 18]. ИИ-решения трансформируют логистику и управление запасами, снижая издержки и повышая точность планирования [10; 13]. Кроме того, ИИ открывает новые возможности для инноваций, включая разработку продуктов с заданными свойствами и реализацию концепции персонализированного питания [4]. Экономические расчёты показывают, что, несмотря на значительные инвестиции, требуемые для внедрения ИИ, потенциальный выигрыш в производительности, качестве и сокращении потерь может обеспечить высокую рентабельность этих проектов в долгосрочной перспективе [12]. Таким образом, освоение и

масштабирование применения технологий ИИ становятся не просто технологической модой, а насущной необходимостью для устойчивого развития предприятий пищевой промышленности в современных условиях.

Практическое применение технологий искусственного интеллекта в пищевой промышленности охватывает широкий спектр задач – от оптимизации сельскохозяйственного производства до управления взаимоотношениями с конечными потребителями. Системный анализ существующих решений и научных публикаций позволяет выделить несколько ключевых направлений, где потенциал ИИ реализуется наиболее активно (табл. 1).

Таблица 1 – Ключевые направления и примеры применения ИИ в пищевой промышленности

Направление применения ИИ	Примеры технологий ИИ	Решаемые задачи
Контроль качества и безопасности	Компьютерное зрение, машинное обучение, сенсорные системы	Инспекция дефектов, сортировка, оценка свежести, прогнозирование сроков годности, выявление рисков контаминации
Оптимизация производства	Машинное обучение, робототехника, алгоритмы оптимизации	Предиктивное обслуживание оборудования, оптимизация рецептур и технологических режимов, автоматизация рутинных операций
Управление цепями поставок	Машинное обучение, алгоритмы оптимизации, IoT	Прогнозирование спроса, оптимизация запасов и маршрутов доставки, управление складом, обеспечение прослеживаемости
Разработка продуктов/Персонализация	Анализ больших данных, машинное обучение	Идентификация трендов, генерация идей новых продуктов, создание персонализированных диет и продуктов
Точное земледелие	Компьютерное зрение, анализ данных с датчиков и дронов	Мониторинг состояния посевов, оптимизация использования ресурсов (вода, удобрения), прогнозирование урожайности

Источник: составлено авторами

Одним из приоритетных и наиболее развитых направлений является контроль качества и безопасности пищевых продуктов. Традиционные методы контроля часто основаны на выборочных проверках и органолептической оценке, что не исключает ошибок, связанных с человеческим фактором, и не позволяет обеспечить стопроцентный контроль потока продукции. Искусственный интеллект, в частности технологии компьютерного зрения, предлагает эффективную альтернативу. Системы, оснащённые камерами высокого разрешения и обученные на больших массивах данных, способны в режиме реального времени анализировать внешний вид продукции (фруктов, овощей, мяса, рыбы, готовых изделий), выявляя мельчайшие дефекты, отклонения в цвете, форме, текстуре, наличие посторонних включений с точностью, зачастую превосходящей возможности человека [6]. Алгоритмы машинного обучения используются для классификации продукции по сортам, степени зрелости, категориям качества. Кроме визуального контроля, ИИ анализирует данные с различных сенсоров (электронные «носы» и «языки», спектрометры, датчики температуры и влажности), позволяя оценивать свежесть продукта, прогнозировать сроки его годности, выявлять признаки порчи или контаминации на ранних стадиях [8; 17]. Это не только гарантирует безопасность для потребителя, но и помогает предприятиям снижать потери от брака и возвратов, а также соответствовать всё более строгим стандартам и регуляторным требованиям.

Следующее важное направление – оптимизация производственных процессов. Целью здесь является повышение производительности, снижение себестоимости и минимизация отходов. Методы машинного обучения активно применяются для предиктивного технического обслуживания оборудования [1; 17]. Анализируя данные с датчиков вибрации, температуры, энергопотребления, система может предсказать вероятный выход из строя

того или иного узла задолго до его фактической поломки. Это позволяет планировать ремонты и обслуживание в удобное время, избегая аварийных остановок и дорогостоящих простоев производственных линий. ИИ также используется для оптимизации рецептов, подбирая оптимальное соотношение ингредиентов с учётом их стоимости, доступности, пищевой ценности и влияния на конечные свойства продукта. Значительную роль играет роботизация, особенно для выполнения монотонных, трудоёмких или выполняемых в неблагоприятных условиях операций. Роботы, управляемые ИИ, используются для дозирования ингредиентов, смешивания, формовки, нарезки, упаковки, паллетирования [14; 16]. Интеллектуальные системы позволяют роботам адаптироваться к изменениям в производственном процессе, работать с различными типами продуктов и эффективно взаимодействовать друг с другом и с людьми.

Критически важным для пищевой промышленности является эффективное управление цепочками поставок и логистика. Короткие сроки годности многих продуктов, сезонность спроса и необходимость поддержания особых температурных режимов делают эту задачу особенно сложной. Искусственный интеллект предлагает мощные инструменты для её решения. Алгоритмы машинного обучения анализируют большие объёмы данных (история продаж, данные о погоде, календаре, маркетинговых активностях, информация из социальных сетей) для построения высокоточных моделей прогнозирования спроса [11]. Точный прогноз позволяет оптимизировать планирование производства, уровень запасов сырья и готовой продукции, снижая риск как дефицита, так и избыточных запасов, приводящих к списанию просроченной продукции. ИИ также применяется для оптимизации маршрутов доставки с учётом трафика, стоимости транспортировки и временных окон доставки, для управления складскими запасами (например, с использованием роботизированных складов), а также для обеспечения прослеживаемости продукции на всех этапах – от фермы до полки магазина, что повышает прозрачность цепочки поставок и доверие потребителей [4; 13].

Перспективным направлением является использование ИИ для разработки новых продуктов и персонализации питания. Анализируя потребительские тренды, отзывы, научные публикации о влиянии различных нутриентов на здоровье, ИИ может помочь R&D-отделам компаний генерировать новые идеи продуктов, прогнозировать их потенциальный успех на рынке и ускорять процесс разработки. Особый интерес представляет концепция персонализированного питания, где ИИ способен учитывать индивидуальные потребности человека (возраст, пол, уровень активности, состояние здоровья, генетические предрасположенности, пищевые предпочтения) для формирования рекомендаций по питанию или даже создания индивидуализированных продуктов и рационов. Это направление отвечает растущему тренду на здоровый образ жизни и осознанное потребление.

Наконец, нельзя не упомянуть роль ИИ в точном земледелии, которое является исходной точкой для многих пищевых производств. Анализ данных со спутников, дронов, почвенных датчиков с помощью ИИ позволяет оптимизировать использование воды, удобрений и средств защиты растений, выявлять заболевания на ранних стадиях, прогнозировать урожайность и повышать общую эффективность и устойчивость сельскохозяйственного производства [4; 15].

Несмотря на широкий спектр потенциальных преимуществ, повсеместное внедрение ИИ в пищевой промышленности сдерживается рядом существенных ограничений и барьеров. Прежде всего, это высокая стоимость разработки, приобретения и интеграции ИИ-решений, которая может быть неподъёмной, особенно для малых и средних предприятий [18]. Другой серьёзной проблемой является необходимость в больших объёмах качественных и релевантных данных для обучения моделей машинного обучения. Сбор, разметка и подготовка таких данных требуют значительных усилий и затрат [4]. Существует также дефицит квалифицированных кадров – специалистов по данным (Data Scientists), инженеров по машинному обучению, экспертов, способных не только разрабатывать, но и эффективно эксплуатировать и интерпретировать результаты работы ИИ-систем в специфическом контексте пищевой промышленности [3].

Кроме технологических и экономических барьеров, существуют организационные сложности, связанные с необходимостью перестройки бизнес-процессов, преодоления сопротивления изменениям со стороны персонала, а также этические вопросы и проблемы безопасности данных, особенно при работе с персонализированной информацией потребителей. Успешное преодоление этих барьеров требует комплексных усилий со стороны бизнеса, научного сообщества и государства, включая разработку доступных платформенных решений, образовательных программ и нормативно-правовой базы.

Заключение

Обобщая результаты исследования, проведённого в данной статье, можно сделать следующие выводы:

- современное состояние пищевой промышленности характеризуется активным, хотя и неравномерным, проникновением технологий искусственного интеллекта. Существующие решения демонстрируют высокий потенциал, однако их применение часто носит фрагментарный характер, отсутствует системный подход к интеграции ИИ в общую стратегию развития предприятий. Наблюдается разрыв между технологическими возможностями и реальной практикой внедрения;

- для полноценной реализации преимуществ ИИ необходимы принципиальные изменения как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне отрасли: с организационной точки зрения требуется переход к комплексным стратегиям цифровизации, охватывающим все бизнес-процессы и предполагающим развитие новых компетенций у персонала; методически необходимо совершенствовать подходы к сбору, обработке и анализу данных, являющихся «топливом» для ИИ-систем, а также разрабатывать метрики для оценки реальной экономической эффективности внедряемых решений;

- современная наука и технологическая индустрия предлагают весьма эффективный инструментарий на базе ИИ (алгоритмы машинного обучения, компьютерного зрения, роботизированные системы), который целесообразно использовать для решения широкого спектра задач пищевой промышленности – от контроля качества до оптимизации логистики и персонализации питания. Адаптация и масштабирование этих инструментов являются ключевыми факторами повышения конкурентоспособности;

- необходимо подчеркнуть, что проведённый в статье анализ опирается на обобщение реального опыта внедрения ИИ и результаты актуальных научных исследований. Этот анализ выявляет не только значительные перспективы, но и существенные барьеры (высокая стоимость, дефицит данных и кадров, организационные сложности), требующие пристального внимания и целенаправленных усилий по их преодолению;

- эффективное развитие и внедрение ИИ в пищевой промышленности могут быть существенно ускорены путём создания отраслевых центров компетенций или цифровых платформ, которые могли бы аккумулировать лучшие практики, предоставлять доступ к технологиям и данным, способствовать кооперации между предприятиями, научными организациями и разработчиками ИИ-решений. Это позволит снизить порог входа для компаний, особенно малых и средних;

- дальнейшее развитие должно идти по пути создания адаптированных и доступных ИИ-решений, учитывающих специфику пищевой отрасли (разнообразие продукции, высокие требования к безопасности, короткие сроки годности). Важна разработка не только самих алгоритмов, но и комплексных программно-аппаратных систем, а также стандартов и этических норм их применения, особенно в области работы с персональными данными потребителей.

Список источников

1. Оптимизация последовательности выполнения заказов предприятия эвристическими алгоритмами / В. И. Аверченков, А. И. Якимов, Е. М. Борчик [и др.] // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. – № 2(24). – С. 65-76. – <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2024-2-65-76>. – EDN RRCPEC.

2. The software platform for creating and conducting artificial intelligence competitions with a visualization subsystem / A. A. Zakharova, N. S. Silchenko, R. A. Krylov, V. I. Averchenkov // *Physics and Technology Proceedings (CPT2020)*. – Nizhny Novgorod, 2020. – P. 207-212. – https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce2771ef1358.41238945. – EDN XBMWKB.
3. Боровская, М. А. Резервы роста производительности труда в условиях цифровой трансформации / М. А. Боровская, М. А. Масыч, Т. В. Федосова // *Terra Economicus*. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 47-66. – <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2020-18-4-47-66>. – EDN GZBIDR.
4. IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry / N. N. Misra, Y. Dixit, A. Al-Mallahi [et al.] // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2022. – Vol. 9, No. 9. – P. 6305-6324. – <https://doi.org/10.1109/IJOT.2020.2998584>. – EDN RMMHLX.
5. Балыхин, М. Г. Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции / М. Г. Балыхин, И. Г. Благовещенский, А. Б. Борзов // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 11. – С. 60-63. – EDN ZSREAF.
6. Благовещенский, И. Г. Автоматизированная система контроля и управления технологическим процессом пищевой 3d печати шоколадом с использованием системы технического зрения / И. Г. Благовещенский, Э. Д. Шибанов. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – 150 с. – ISBN 978-5-907857-86-5. – EDN MCBWPG.
7. Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. – Academic Press, 2008. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373642-0.X5001-7>.
8. Liakos K. G., Athanasiadis V., Bozinou E., Lalas S. I. Machine Learning for Quality Control in the Food Industry: A Review // *Foods*. – 2025. – Vol. 14, No. 19. – P. 3424. <https://doi.org/10.3390/foods14193424>.
9. Wang Yu., et al. Machine learning advances in food detection technologies // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2025. – Vol.148, Part 3. – P. 108596. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108596>.
10. Рогулин, Р. С. Использование методов анализа данных и машинного обучения для прогнозирования и планирования спроса при управлении цепочками поставок / Р. С. Рогулин // *Теоретическая экономика*. – 2023. – № 8(104). – С. 35-54. – EDN JYIYZ.
11. Рогулин, Р. С. Прогнозирование и планирование спроса: кейс искусственного интеллекта при управлении цепочками поставок / Р. С. Рогулин // *Регион: системы, экономика, управление*. – 2023. – № 1(60). – С. 172-180. – <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2023-60-1-172-180>. – EDN GOQQKE.
12. Толкунов, П. И. Применение нейронных сетей и машинного обучения в экспертных системах принятия решений для оптимизации инвестиционных стратегий пищевых комплексов / П. И. Толкунов // *Человек. Общество. Инклюзия (Приложение)*. – 2023. – № S1-2. – С. 636-641. – EDN FCSNST.
13. Тонконогов, С. Г. Концепция управления цепями поставок в новой реальности / С. Г. Тонконогов // *Логистика сегодня*. – 2021. – № 4. – С. 294-298. – <https://doi.org/10.36627/2500-1302-2021-4-4-294-298>. – EDN VFLRNA.
14. Аристова, Н. И. Автоматизация в промышленности: новые вызовы и возможности / Н. И. Аристова // *Автоматизация в промышленности*. – 2024. – № 1. – С. 3-4. – EDN MNWHDZ.
15. Лосева, О. В. Нормативно-методические и финансовые меры господдержки развития единого цифрового пространства российской промышленности / О. В. Лосева, М. А. Федотова // *Экономическое развитие России*. – 2025. – Т. 32, № 1. – С. 139-147. – EDN UVZWKR.
16. Рубцова, Л. Э. Автоматизация процессов в промышленности: от 4.0 до 5.0 / Л. Э. Рубцова // *Актуальные исследования*. – 2025. – № 3-3(238). – С. 19-21. – EDN FESSCH.
18. Ефременко, Е. В. Цифровая трансформация сферы услуг: анализ, учет, аудит / Е. В. Ефременко // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – 2023. – Т. 2, № 1(133). – С. 101-106. – <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.01.02.014>. – EDN XOKPQM.
17. Revelou P.-K., Tsakali E., Batrinou A., Strati I. F. Applications of Machine Learning in Food Safety and HACCP Monitoring of Animal-Source Foods // *Foods*. – 2025. – Vol. 14, No. 6. – P. 922. <https://doi.org/10.3390/foods14060922>.

References

1. Averchenkov V., et al. Optimizing the sequence of enterprise orders using heuristic algorithms. *Automation and Modeling in Design and Management*, 2024, no. 2(24), pp. 65-76. <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2024-2-65-76>.

2. Zakharova A. A., et al. The software platform for creating and conducting artificial intelligence competitions with a visualization subsystem. *Physics and Technology Proceedings* (CPT2020). Nizhny Novgorod, 2020, pp. 207-212. https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce2771ef1358.41238945.
3. Borovskaya M. A., Masych M. A., Fedosova T. V. Reserves for growth of labor productivity in the context of the digital transformation. *Terra Economicus*, 2020, vol. 18, no. 4, pp. 47-66. <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2020-18-4-47-66>.
4. Misra N. N., et al. IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, vol. 9, no. 9, pp. 6305-6324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2998584>.
5. Balyhin M. G., Blagoveshchenskii I. G., Borzov A. B. The architecture and the basic concept of building intelligent an expert system for quality control of food products. *Food Industry*, 2017, no. 11, pp. 60-63. Available from: <https://elibrary.ru/ZSREAF>.
6. Blagoveshchenskii I. G., Shibanov E. D. *An automated system for monitoring and controlling the technological process of 3D food printing with chocolate using a vision system*. Kursk, 2024, 150 p. Available from: <https://elibrary.ru/MCBWPG>.
7. *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*, Academic Press, 2008. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373642-0.X5001-7>.
8. Liakos K. G., et al. Machine Learning for Quality Control in the Food Industry: A Review. *Foods*, 2025, vol. 14, no. 19, p. 3424. <https://doi.org/10.3390/foods14193424>.
9. Wang Yu., et al. Machine learning advances in food detection technologies. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2025, vol. 148, part 3, p. 108596. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108596>.
10. Rogulin R. S. Using data analytics and machine learning techniques to forecast and plan demand, to optimize inventory levels, reduce stockouts, and improve customer satisfaction. *Theoretical economics*, 2023, no. 8(104), pp. 35-54. Available from: <https://elibrary.ru/JIYIYZ>.
11. Rogulin R. S. Forecasting and forecasting demand: the case of artificial intelligence in supply chain management. *Region: Systems, Economics, Management*, 2023, no. 1(60), pp. 172-180. <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2023-60-1-172-180>.
12. Tolkunov P. I. Application of neural networks and machine learning in expert decision-making systems to optimize investment strategies of food complexes. *Human. Society. Inclusion*, 2023, no. S1-2, pp. 636-641. Available from: <https://elibrary.ru/FCSNST>.
13. Tonkonogov S. G. Supply Chain Management Concept in the New Reality. *Logistics Today*, 2021, no. 4, pp. 294-298. <https://doi.org/10.36627/2500-1302-2021-4-4-294-298>. Available from: <https://elibrary.ru/VFLRNA>.
14. Aristova N. I. Automation in industry: new challenges and opportunities. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2024, no. 1, pp. 3-4. Available from: <https://elibrary.ru/MNWHZDZ>.
15. Loseva O. V., Fedotova M. A. Legal and financial measures of state support for the development of the unified digital space of the Russian industry. *Russian Economic Developments*, 2025, vol. 32, no. 1, pp. 139-147. Available from: <https://elibrary.ru/UVZWKR>.
16. Rubtsova L. E. Automation of processes in industry: from 4.0 to 5.0. *Aktualnye issledovaniya*, 2025, no. 3-3(238), pp. 19-21. Available from: <https://elibrary.ru/FESSCH>.
18. Efremenko E. V. Digital transformation of the service sector: analysis, accounting, audit. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 2023, vol. 2, no. 1(133), pp. 101-106. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.01.02.014>.
17. Revelou P.-K., Tsakali E., Batrinou A., Strati I. F. Applications of Machine Learning in Food Safety and HACCP Monitoring of Animal-Source Foods. *Foods*, 2025, vol. 14, no. 6, p. 922. <https://doi.org/10.3390/foods14060922>.

Статья поступила в редакцию / Received: 22.07.2025

Доработана после рецензирования / Revised: 30.10.2025

Принята к публикации / Accepted: 07.11.2025

Подписано в печать / Passed for printing 21.11.2025