

Современные цифровые подходы в технологиях хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: обзор предметного поля

КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ,
г. Краснодар, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Першакова Татьяна Викторовна
E-mail: 7999997@inbox.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Першакова, Т.В., Купин, Г.А., Яковлева, Т.В., Чернявская, Ю.Н., & Котвицкая, Д.В. (2025). Развитие цифровых методов в технологиях хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(1), 27–48. <https://doi.org/10.36107/spfr.2025.1.564>

ПОСТУПИЛА: 23.11.2024

ДОРАБОТАНА: 10.03.2025

ПРИНЯТА: 15.03.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 31.03.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Т. В. Першакова, Г. А. Купин, Т. В. Яковлева, Ю. Н. Чернявская,
Д. В. Котвицкая

АННОТАЦИЯ

Введение: Технология хранения и переработки сельскохозяйственного сырья играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и минимизации потерь продукции, однако традиционные методы зачастую не в полной мере эффективны и могут приводить к значительным потерям сырья.

Цель: Критическое осмысление, систематизация и обобщение существующих цифровых методов и технологий, применяемых в хранении и переработке сельскохозяйственного сырья, для выявления их потенциала, ограничений и перспектив внедрения в российском сельском хозяйстве, с учетом особенностей отрасли и существующих барьеров.

Материалы и методы: Анализировались научные статьи и материалы конференций на русском и английском языках из изданий, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, РИНЦ. Временные рамки анализируемых изданий с 2017 по 2024 гг. Также была проанализирована нормативно-правовая документация Правительства РФ в области внедрения цифровых технологий, вступившая в силу с 2010 по 2023 г. и опубликованная на официальном сайте «Консультант Плюс» и интернет-источники, опубликованные за период с 2023 по 2024 гг. Обзор проведен в соответствии с установлениями PRIZMA ScR.

Результаты: В процессе анализа существующих цифровых методов и технологий, применяемых для хранения и переработки сельскохозяйственного сырья выделены три направления исследований, описывающие: (1) уровень цифровизации агропромышленного комплекса в Российской Федерации, (2) сдерживающие аспекты, влияющие на уровень цифровизации агропромышленного комплекса, (3) разработки в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Выводы: Цифровые технологии, применяемые в хранении и переработке сельскохозяйственного сырья, обладают значительным потенциалом для оптимизации производственных процессов, снижения затрат и повышения эффективности. Однако существующие цифровые решения отличаются фрагментарностью и недостаточной интеграцией, как между собой, так и с традиционными лабораторными методами определения качества. Создание единой интегрированной системы, использующей возможности искусственного интеллекта, могло бы значительно повысить эффективность, безопасность и качество всей сельскохозяйственной отрасли. Для создания такой системы необходим переход от фрагментарных решений к комплексным платформам, которые интегрируют данные из разных систем; также необходимо провести интеграцию искусственного интеллекта с традиционными лабораторными методами оценки качества. Однако отсутствие единых стандартов для обмена данными и недостаток координации между системами препятствуют комплексному внедрению цифровых решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

уровень цифровизации агропромышленного комплекса; сдерживающие аспекты развития цифровизации; направления использования искусственного интеллекта в аграрном секторе; фрагментация цифровых решений

The Development of Digital Methods in the Technologies of Storage and Processing of Agricultural Raw Materials: A Scoping Review

Krasnodar Scientific Research
Institute for Storage and Processing
of Agriculture Products – branch of
the Federal State budgetary scientific
institution “North Caucasus Federal
Scientific Center for Horticulture,
Viticulture, Winemaking”, Krasnodar,
Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Tatyana V. Pershakova

E-mail: 7999997@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Pershakova, T.V., Kupin, G.A.,
Yakovleva, T.V., Chernyavskaya, J.N.,
& Kotvitskaya, D.V. (2025). The
development of digital methods in the
technologies of storage and processing
of agricultural raw materials: A scoping
review. *Storage and Processing of Farm
Products*, 33(1), 27-48. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.1.564>

RECEIVED: 23.11.2024

REVISED: 10.03.2025

ACCEPTED: 15.03.2025

PUBLISHED: 31.03.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Tatyana V. Pershakova, Grigory A. Kupin, Tatyana V. Yakovleva,
Julia N. Chernyavskaya, Daria V. Kotvitskaya

ABSTRACT

Introduction: Technologies for storing and processing of agricultural raw materials play a key role in ensuring food security and minimizing product losses, but traditional methods are often not fully effective and can lead to significant losses of raw materials.

Purpose: Critical understanding, systematization and generalization of existing digital methods and technologies used in the storage and processing of agricultural raw materials in order to identify their potential, limitations and prospects for implementation in Russian agriculture, considering the specifics of the industry and existing barriers.

Materials and Methods: To analyze the current state of the development of digital methods and technologies used in the storage and processing of agricultural raw materials, this paper conducted a review of research articles and conference materials. The study covers the period from 2017 to 2024. The search for relevant literature was carried out through the scientific databases Scopus, Web of Science, and RSCI. The regulatory and legal documentation of the Government of the Russian Federation in the field of implementation of digital technologies, which came into force from 2010 to 2024, published on the Consultant Plus official website, was also analyzed. Internet sources published in the period from 2023 to 2024 were also analyzed. The study included works published in Russian and English. The PRISMA protocol was used to systematize the literature review.

Results: In the process of analyzing existing digital methods and technologies used in the storage and processing of agricultural raw materials three research trends were identified: (1) the level of digitalization of the agro-industrial complex in the Russian Federation, (2) the restraining aspects of the level of the agro-industrial complex digitalization and presents ways to overcome them, (3) inventions in the field of storage and processing of agricultural raw materials.

Conclusion: Digital technologies used in the storage and processing of agricultural raw materials have significant potential to optimize production processes, reduce costs and increase efficiency. However, existing digital solutions are fragmented and poorly integrated, both with each other and with traditional laboratory methods of quality determination. The creation of a single integrated system using artificial intelligence capabilities would contribute to increasing the efficiency, safety and quality of the entire agricultural sector. To create such a system, it is necessary to move from fragmented solutions to comprehensive platforms integrating data from different systems; it is also necessary to integrate artificial intelligence with the traditional laboratory methods of quality determination. However, the lack of uniform standards for data exchange and the lack of coordination between systems hinder the comprehensive implementation of digital solutions.

KEYWORDS

level of agro-industrial complex digitalization; development constraints; areas of the use of artificial intelligence in agro-industrial complex; fragmentation of digital solutions

ВВЕДЕНИЕ

Современное сельское хозяйство столкнулось с вызовами, связанными с повышением спроса на продукцию, необходимостью сокращения потерь и улучшения качества продукции (Водясов, 2018; Кудинова и соавт., 2023). В этой ситуации цифровые технологии предлагают революционный подход к решению многих проблем в сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. Например, применение датчиков, искусственного интеллекта и больших данных позволяет создавать более эффективные системы управления условиями хранения, оптимизировать процессы переработки и улучшить контроль качества продукции (Валигурский и соавт., 2019).

Внедрение цифровых методов в сельское хозяйство способствует более рациональному использованию таких ресурсов, как вода, удобрения, пестициды, энергия и рабочая сила, а также снижению потерь и увеличению рентабельности сельскохозяйственного производства. Несмотря на очевидный потенциал цифровых технологий в сельском хозяйстве, их реализация в сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья происходит неравномерно. Существуют проблемы, связанные с отсутствием единых стандартов в области цифровизации, недостатком информации о доступных цифровых решениях для сельского хозяйства и недостатком квалифицированных специалистов, способных внедрять имеющиеся цифровые инструменты. Существующие обзоры в области применения цифровизации в сельском хозяйстве (Afreen et al., 2021; Kailaku et al., 2022; Lamberty et al., 2022; Rajesh et al., 2022; Rehman et al., 2022; Норалиев и соавт., 2020; Idama et al., 2023; Karpagalakshmi et al., 2020; Tileukeev et al., 2023) в основном фокусируются на отдельных аспектах использования цифровых технологий, не уделяя достаточно внимания сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Данный обзор предметного поля нацелен на систематизацию и критическое оценивание существующих цифровых методов и технологий, применяемых в хранении и переработке сельскохозяйственного сырья. Исследовательские вопросы:

RQ#1: Каковы ключевые направления развития цифровых технологий в сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья?

RQ#2: Какими преимуществами и недостатками обладают существующие цифровые методы и технологии?

RQ#3: Каковы основные барьеры для внедрения цифровых технологий в сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья?

RQ#4: Какие перспективы существуют для дальнейших исследований и развития в этой сфере?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Для проведения обзора был осуществлен поиск источников (научные статьи и материалы конференций на русском и английском языках) за период с 2017 по 2024 г. Этот выбор обусловлен тем, что данный период охватывает наиболее активное развитие цифровых технологий в сельском хозяйстве. Поиск осуществлялся в базах данных РИНЦ, Web of Science, Scopus. Также была использована нормативно-правовая документация Правительства Российской Федерации в области развития цифровых технологий, подобранная за период с 2010 по 2024 г. на официальном сайте «Консультант Плюс». Были отобраны и проанализированы интернет-источники, содержащие информацию о современных разработках цифровых технологий в области хранения и переработки сельскохозяйственной продукции в сфере АПК, опубликованные в период с 2023 по 2024 г.

Критерии включения и исключения для научных источников

В российской базе данных РИНЦ отбор данных источников для анализа реализовывался по следующим ключевым словам: цифровизация, агропромышленный комплекс, сельское хозяйство, хранение, переработка, искусственный интеллект, Agriculture 4.0. В зарубежных базах данных Scopus, Web of Science поиск осуществлялся по ключевым словам: digitalization, agro-industrial complex, agriculture, storage, processing, artificial intelligence, Agriculture 4.0.

Критерии включения научных источников в обзор:

(1) материалы научных статей и конференций опубликованы в период с 2017 по 2024 г.;

- (2) материалы научных статей и конференций соответствуют теме выбранного исследования и затрагивают следующие аспекты: современное состояние агропромышленного комплекса разных стран, уровень самообеспеченности основными продуктами (в том числе фруктами и овощами), уровень продовольственной независимости разных стран; значение цифровизации аграрного сектора, уровень цифровой активности российских сельскохозяйственных организаций, проблемы внедрения цифровых технологий в организациях, различные исследования, направленные на разработку цифровых технологий в области хранения сельскохозяйственного сырья;
- (3) типы анализируемых материалов — это оригинальные исследовательские научные статьи, обзорные статьи, материалы конференций.

Критерии исключения научных источников:

- (1) материалы научных статей и конференций не соответствуют теме данного обзора, т. е. не касаются тематики развития цифровизации в области АПК в технологиях хранения и переработки сельскохозяйственного сырья;
- (2) материалы научных статей и конференций написаны на других языках, кроме русского и английского;
- (3) содержание материалов научных статей и конференций дублируется. Если из разных баз данных или электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Критерии включения и исключения для нормативно-правовой документации Правительства РФ

На официальном сайте «Консультант Плюс» отбор данных источников для анализа реализовывался по следующим ключевым словам: цифровизация, цифровая трансформация, концепция развития, агропромышленный комплекс, сельское хозяйство.

Критерии включения нормативно-правовой документации Правительства РФ в обзор:

- (1) документация является действующей;
- (2) документация соответствует теме выбранного исследования и затрагивает програм-

мы, направленные на цифровизацию отрасли сельского хозяйства, существующие меры поддержки малого и среднего бизнеса в агропромышленном комплексе, а также на государственные стратегические инициативы, способствующие ускорению цифровой трансформации АПК.

Критерии исключения нормативно-правовой документации Правительства РФ:

- (1) документация недействующая;
- (2) документация не соответствует теме данного обзора, т. е. не касается тематики развития цифровизации в АПК в технологиях хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Критерии включения и исключения для интернет-источников

Для поисковых запросов в интернете отбор данных источников для анализа реализовывался по следующим ключевым словам: цифровизация, агропромышленный комплекс, сельское хозяйство, искусственный интеллект, интернет вещей, умные хранилища.

Критерии включения интернет-источников в обзор:

- (1) интернет-источники опубликованы в период с 2023 по 2024 г.;
- (2) интернет-источники соответствуют теме выбранного исследования и затрагивают проблемы цифровизации АПК России, рассматривают решения, направленные на повышение уровня цифровизации АПК России, а также цифровые технологии, внедренные в организациях АПК России.
- (3) типы анализируемых интернет-источников — это официальные сайты компаний, общественно-политические новостные порталы и сайты, специализированные новостные порталы и сайты, онлайн-журналы.

Критерии исключения интернет-источников:

- (1) интернет-источник не соответствует теме данного обзора, т. е. не касается тематики развития цифровизации в АПК в технологиях хранения и переработки сельскохозяйственного сырья;
- (2) содержание интернет-источника дублируется.

Отбор источников

По запросу из всех баз данных были проанализированы 283 источника, из которых в результате первичного и вторичного сканирования текстов отобран 91 источник (оригинальных исследовательских статей и материалов конференций, обзорных статей — 72, нормативно-правовой документации Правительства РФ — 9, интернет-источников — 10). Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для отображения этапов работы с источниками использовался протокол PRISMA (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

В обзор был включен 91 релевантный научный источник, среди которых 72 составляют научные статьи и материалы конференций, 9 — документы нормативно-правовой документации Правительства РФ и 10 — интернет-источники. Процесс извле-

чения данных выполнялся авторами независимо друг от друга, затем результаты обсуждались в рамках фокус-группы, что позволило прийти к единому объективному представлению информации.

Извлеченные данные представлены в аналитической таблице, включающей следующие категории: автор и год публикации; уровень цифровизации агропромышленного комплекса (АПК) в Российской Федерации; факторы, влияющие на развитие цифровизации АПК; направления использования цифровых технологий в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

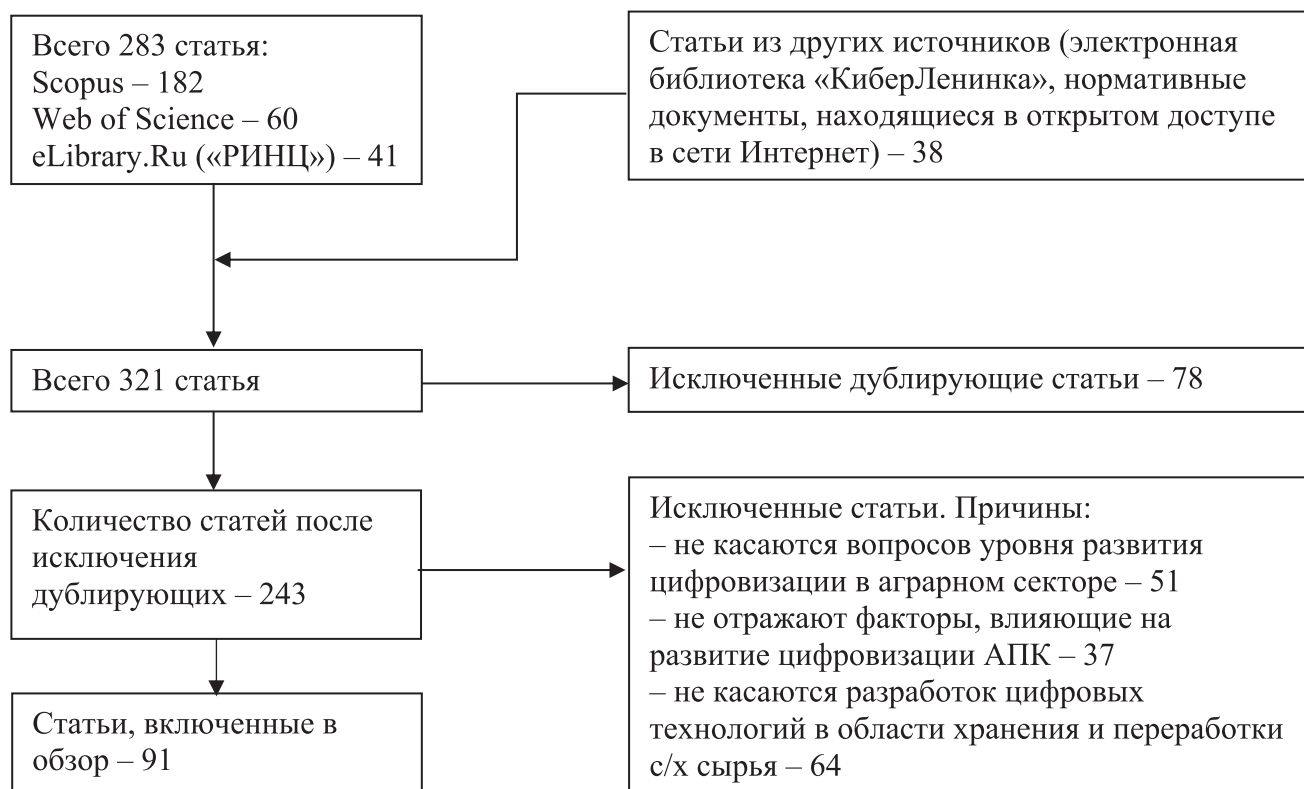
Для категоризации информации применялся тематический подход, при котором каждый источник был проанализирован на соответствие ключевым аспектам исследования. Далее данные группировались в три концептуальных блока: (1) уровень цифровизации АПК; (2) сдерживающие факторы внедрения цифровых решений; (3) примеры научных

Рисунок 1

Блок-схема, описывающая процесс выбора материалов для исследования в соответствии с протоколом PRISMA

Figure 1

Flowchart Describing the Process of Selecting Materials for the Research, Following the PRISMA ScR Protocol



разработок и технологий, применяемых в области хранения и переработки.

Концептуализация исследовательских трендов осуществлялась на основе содержательного анализа включенных публикаций. Авторы выделяли повторяющиеся тематические тренды, ключевые вызовы и перспективные направления развития. Формулировка трендов происходила путем обобщения повторяющихся тематик, акцентирования внимания на проблемных зонах и потенциальных точках роста, что позволило выявить как устойчивые направления научного поиска, так и нерешенные вопросы, требующие дальнейшего изучения.

Использование данной аналитической структуры позволило систематизировать и наглядно представить основные результаты обзора. Это обеспечило четкое понимание текущего состояния цифровизации агропромышленного комплекса, а также выявило основные препятствия и перспективные направления развития цифровых технологий в области хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

В Таблице 1 представлено описание процесса извлечения данных из статей, которые были включены в обзор.

Таблица 1
Пример извлечения данных из статей, рассматриваемых в данном обзоре

Table 1
An Example of Extracting Data from the Articles Included in the Review

№	Заглавие	Автор и год	Уровень цифровизации АПК в РФ	Факторы, влияющие на развитие цифровизации АПК	Направления развития цифровых технологий в области хранения и переработки с/х сырья
1	Цифровизация АПК России: проблемы и предлагаемые решения	Шендерюк, О., Чемашкин, Ф., Ветошкин, С., Могилюк, В. (2023)	По уровню внедрения цифровых технологий российский АПК существенно уступает показателям ведущих стран мира	—	—
2	Оценка и прогноз развития агропромышленного комплекса	Валигурский, Д.И., Кузьмина, Т.Т., Рыжова, И.О., Савенко, В.Г., Гаврилюк, М.В. (2019)	—	Самый низкий уровень компетенций работников АПК и кадров России в целом был выявлен в области информационных технологий. Без необходимых навыков и качества компетенций невозможна реализация намеченных стратегий и программ в полной мере. Для повышения уровня компетенций требуется дополнительная подготовка и переподготовка специалистов	—
3	Application of hyperspectral imaging for maturity and soluble solids content determination of strawberry with deep learning approaches	Su, Zh., Zhang, Ch., Yan, T., Zhu, J., Zeng, Y., Lu, X., Gao, P., Feng, L., He, L., Fan, L. (2021)	—	—	Hyperspectral imaging in combination with deep learning has been applied to determine the degree of maturity and the content of soluble solids (SSC) in strawberries with four degrees of maturity.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ потенциала внедрения цифровых технологий в сферу хранения и переработки сельскохозяйственного сырья выявил три ключевых блока, которые рассмотрены в данном разделе: уровень цифровизации агропромышленного комплекса Российской Федерации; сдерживающие факторы, влияющие на уровень цифровизации в агропромышленном комплексе и пути их преодоления; научные исследования и разработки в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Уровень цифровизации агропромышленного комплекса Российской Федерации: вызовы и перспективы

В современном мире агропромышленный комплекс занимает одно из центральных мест в экономической структуре России и включает в себя целый ряд отраслей, среди которых ключевую позицию занимает растениеводство, отвечающее за производство и поставку на рынок большого ассортимента высококачественной сельскохозяйственной продукции и сырья, необходимых для дальнейшей переработки в различных секторах промышленности (Валигурский и соавт., 2019).

В условиях изменений в мировой политике и экономике поддержка отечественного агропромышленного сектора и повышение его эффективности становятся одной из ключевых задач, стоящих перед государством (Шереужева, 2020). Продовольственную независимость страны, определяемую Доктриной продовольственной безопасности РФ, обеспечивает рост производства сельскохозяйственной продукции (Рисунок 2) (Водясов, 2018; Кудинова и соавт., 2023).

С 2017 по 2023 г. аграрный сектор нашей страны активно развивался, что отражается в высоких показателях производства. С 2017 г. объем производства продукции АПК вырос на 63 %, из них

Рисунок 2

Динамика темпов прироста производства продукции сельского хозяйства в РФ, %¹

Figure 2

Dynamics of Agricultural Production Growth Rates in the Russian Federation, %¹



продукция растениеводства увеличилась на 73 %. Благодаря такому поступательному развитию сельского хозяйства удалось выйти по большинству целевых показателей на самообеспеченность, которой продолжительное время Россия не обладала (Таблица 2).

Таблица 2

Уровень самообеспечения основными продуктами питания^{2,3}

Table 2

The Level of Self-Sufficiency in Basic Foodstuffs^{2,3}

Виды продукции	Уровень самообеспеченности, %				
	2016	2018	2020	2022	Доктрина
Зерно	160	147	166	191	95
Картофель	93	95	89	95	95
Овощи и бахчевые культуры	87	87	86	89	90
Фрукты и ягоды	37	39	42	47	60

Показатели продовольственной независимости и продовольственной безопасности были достигнуты в то время, когда аграриям были доступны западные средства и технологии производства. Однако в 2022 г., несмотря на рекордный урожай, индекс продовольственной безопасности РФ снизил-

¹ Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/>

² Шендерюк, О., Чемашкин, Ф., Ветошкин, С., Могилюк, В. (2023). Цифровизация АПК России: проблемы и предлагаемые решения. Яков и партнеры.

³ Сельское хозяйство в России 2023. Статистический сборник. Федеральная служба государственной статистики. Росстат. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_xoz-vo_2023.pdf

ся до 69%. Это объясняется повышением стоимости средств производства, замедлением внедрения новой техники и передовых технологий, нарушением цепочек поставок, политическими препятствиями. К перечисленным проблемам следует отнести также недостаточную финансовую поддержку малых форм хозяйствования со стороны государства, что явилось катализатором увеличения угроз для продовольственной безопасности (Валигурский и соавт., 2019; Водясов, 2018). В этих условиях остро встает вопрос о цифровизации аграрного сектора, которая могла бы стать основным направлением для дальнейшего роста.

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса на сегодняшний день является одним из ключевых вызовов для мирового экономического прогресса. Внедрение цифровых технологий в сельское хозяйство и промышленность становится не просто необходимостью, но и стратегическим шагом к повышению эффективности и конкурентоспособности отрасли. Разработка и внедрение инновационных цифровых решений в производственные процессы позволяют оптимизировать использование ресурсов, повысить производительность труда и сократить экологическую нагрузку. Благодаря цифровому прогрессу возможно значительное улучшение качества продукции, увели-

чение объемов производства и расширение рыночных возможностей для сельскохозяйственных предприятий (Алтухов и соавт., 2020; Салтанова и соавт., 2022).

Цифровая трансформация позволит не только оптимизировать внутренние процессы, но и улучшить взаимодействие с потребителем, она способствует повышению эффективности работы предприятий, улучшению качества выпускаемой продукции, сокращению издержек производства и снижению себестоимости продукции, что, в свою очередь, приведет к повышению конкурентоспособности. Кроме того, повысит производительность труда сотрудников и способствует переходу сельского хозяйства к Agriculture 4.0 (Сибиряев, 2023; Шатохин и соавт., 2021).

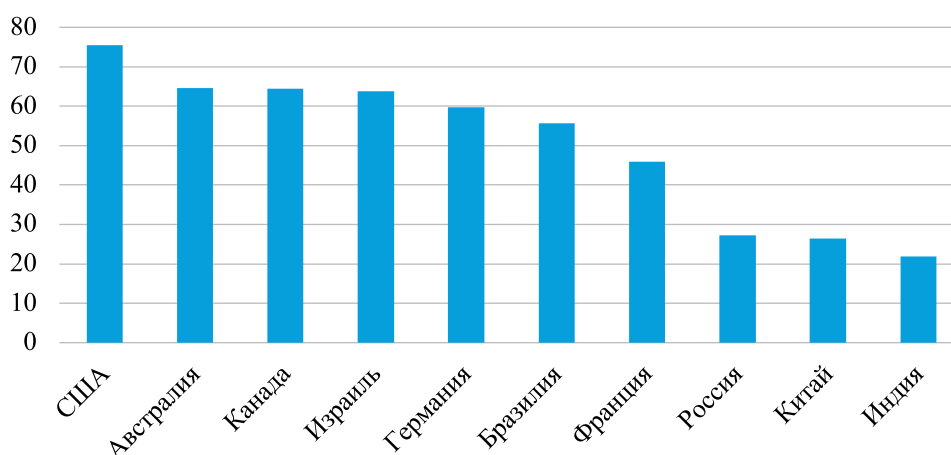
Для определения степени развития цифровизации используется множество разнообразных критериев, среди которых основополагающим является показатель уровня цифровизации. Анализ этого показателя не только позволяет сравнивать различные страны между собой, но и выявлять тенденции развития цифровых технологий в мировом масштабе (Клюкин, 2022). Показатели уровня цифровизации АПК разных стран представлены на Рисунке 3⁴.

Рисунок 3

Уровень цифровизации АПК в разных странах

Figure 3

The Level of Agriculture Digitalization in Different Countries



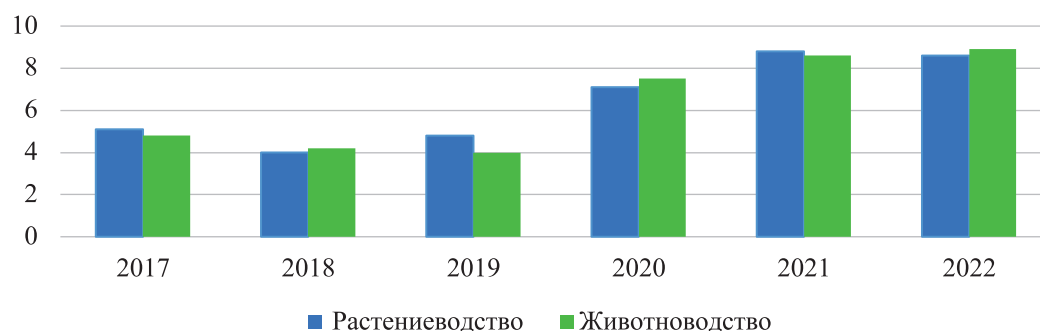
⁴ Шендерюк, О., Чемашкин, Ф., Ветошкин, С., Могилюк, В. (2023). Цифровизация АПК России: проблемы и предлагаемые решения. Яков и партнеры. <https://www.yakov.partners/publications/digitalizing-russia-s-agricultural-sector-challenges-and-solutions/>

Рисунок 4

Уровень цифровой активности российских организаций в сельском хозяйстве с 2017 по 2022 г., %

Figure 4

The Level of Digital Activity of Russian Organizations in Agriculture from 2017 to 2022, %



По уровню внедрения цифровых технологий российский АПК существенно уступает показателям ведущих стран мира. В качестве критерия, характеризующего развитие цифровизации аграрного сектора в России, можно определить уровень цифровой активности российских организаций сельского хозяйства (Рисунок 4).

Для анализа активности российских организаций в сельском хозяйстве в период с 2017 по 2022 г. была построена диаграмма, основанная на данных Федеральной службы государственной статистики⁵. Из представленной диаграммы видно, что уровень цифровой активности в последние годы увеличивается. Так, в 2022 г. был зафиксирован наивысший уровень в области животноводства (8,9%), а в 2021 г. — в области растениеводства (8,8%).

Сдерживающие факторы цифровизации агропромышленного комплекса и пути их преодоления

Были выделены несколько ключевых аспектов, оказывающих сдерживающее влияние на развитие отрасли с точки зрения цифровых технологий.

- (1) Многие предприятия сталкиваются с такой проблемой, как ограниченность финансовых ресурсов для внедрения современных цифровых технологий. Это приводит к тому, что производственные показатели в сельско-

- хозяйственной отрасли оказываются ниже ожидаемых (Архипов и соавт., 2019; Валигурский и соавт., 2019; Добровлянин и соавт., 2022; Рогачева и соавт., 2020; Sari et al., 2020).
- (2) В настоящее время актуальной проблемой является недостаток квалифицированных кадров в области информационных технологий, в частности, IT-специалистов. В условиях быстрого развития цифровых технологий возрастает необходимость в дополнительном обучении и переподготовке специалистов. Отсутствие необходимых компетенций ставит под угрозу успешную реализацию намеченных целей и стратегий (Архипов и соавт., 2019; Валигурский и соавт., 2019; Добровлянин и соавт., 2022; Рогачева и соавт., 2020; Чеккуева, 2019; Rajesh et al., 2022).
- (3) Наблюдается недостаточное развитие цифровой инфраструктуры в сельской местности. Государственные программы поддержки направлены на крупные агрохолдинги, что ограничивает возможности малых и средних хозяйств в использовании передовых технологий. Для эффективного развития АПК необходимо обеспечить равные условия и возможности как для крупных, так и для мелких хозяйств (Архипов и соавт., 2019; Валигурский и соавт., 2019; Жуплей, 2021; Рогачева и соавт., 2020; Чеккуева, 2019; Wei et al., 2019; Rehman et al., 2022).

⁵ Федеральная служба государственной статистики. Технологическое развитие отраслей экономики. <https://rosstat.gov.ru/folder/11189>

- (4) Одной из основных проблем на сегодняшний день в сфере АПК является недостаточное обеспечение современной техникой. Имеющаяся сельскохозяйственная техника устарела, сильно изношена, техническое обеспечение не соответствует современным требованиям и технологиям (Валигурский и соавт., 2019; Чеккуева, 2019; Hassoun et al., 2023).

Несмотря на вышеперечисленные вызовы, Россия осознает необходимость ускорения цифровой трансформации АПК. Правительство предпринимает шаги по преодолению препятствий и созданию условий для внедрения цифровых технологий в сельское хозяйство.

Особую важность в ускорении процесса цифровизации в АПК России приобретает создание специализированной платформы для эффективной обработки и безопасного хранения данных, что позволит в дальнейшем использовать собранные данные для принятия обоснованных и целенаправленных управленческих решений. Кроме того, важным шагом в развитии цифровизации агропромышленного комплекса России является разработка и внедрение единого анонимного банка данных (Кострова и соавт., 2020; Трушкин и соавт., 2022).

Не менее значимыми являются пересмотр и корректировка вектора программы Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, направленной на ускорение цифровизации. Эти изменения предполагают расширение мер поддержки, ориентированных в первую очередь на развитие и укрепление позиций малого и среднего бизнеса в агропромышленном комплексе. Такая стратегия способна стимулировать рост цифровизации в АПК России.

По оценкам экспертов, к 2030 г. масштабное внедрение цифровых технологий в сельскохозяйственное производство может привести к значительному увеличению производительности труда, которое составит 15,6 %. Также ожидается значительное повышение объемов производства в зависимости от типа предприятия и может колебаться от 3 до 5 %. Кроме того, цифровизация способна помочь снизить себестоимость продукции на 5–20 %, что, в свою очередь, приведет к существенному увеличению прибыли, оцениваемой в 800 миллиардов рублей ежегодно (Шатохин и соавт., 2021).

В ответ на глобальные тенденции российские власти разрабатывают стратегические меры по ускорению цифровой трансформации АПК. Заинтересованность государства в развитии цифровизации подтверждается значительным количеством законопроектов, начиная с 2010 г.⁶. Главным документом, который в конце ноября 2023 г. утвердил М. Мишустин, стало распоряжение Правительства РФ «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года», основной целью которого стало достижение технологического суверенитета России. Роль цифровизации в этих процессах получила новое звучание — на смену «Цифровой экономике» в 2025 г. придет нацпроект «Экономика данных». Поставлена цель: к 2030 г. доля отечественной высокотехнологичной продукции должна достичь 75 %.

⁶ 1. Минсельхоз «Цифровое сельское хозяйство» : ведомственный проект от 2019 г.
2. Минсельхоз «Цифровое сельское хозяйство» : концепция национальной платформы от 2020 г.
3. О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства : указ Президента Российской Федерации от 21.07.2016 № 350
4. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период 2024 года : указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 208
5. О развитии сельскохозяйственной кооперации : федеральный закон Российской Федерации от 03 июля 2016 № 264-ФЗ
6. О развитии цифровой транспортной инфраструктуры : федеральный закон от 29 декабря 2018 № 425-ФЗ
7. О развитии цифровой экономики : федеральный закон от 28 июля 2017 № 289-ФЗ
8. Об утверждении Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 июля 2010 г. № 12–92-р;
9. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г. : распоряжение Правительства РФ от 23 ноября 2023 года № 3309-р.

Научные исследования и разработки в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья

Современный этап развития научной среды характеризуется большим количеством исследований, направленных на разработку цифровых технологий в области хранения сельскохозяйственного сырья. В настоящий момент актуально семь направлений, в которых используется искусственный интеллект (ИИ) (Рисунок 5).

Направления использования искусственного интеллекта затрагивают все этапы производственно-сбытовой цепочки от планирования производства до упаковки готовой продукции. Так, например, использование интернета вещей, который является системой компьютерных сетей и датчиков, обладающей возможностью сбора и обмена данными, способствует автоматизации процессов производства и обеспечивает дистанционный контроль определенных параметров (газовой среды, температуры, относительной влажности) как в камерах хранения, так и в цепочках поставок, как следствие, снижается воздействие человеческого фактора⁷ (Afreen et al., 2021; Kailaku et al., 2022; Lamberty et al., 2022; Rajesh et al., 2022; Rehman et al., 2022). Нунупаров и соавт. разработали систему сбора, передачи и анализа температурных значений и показателей уровня газовой среды (углекислый газ, метан) при хранении сахарной свеклы в кагатах. Эта система, основанная на беспроводной сети, способна определить точное место зарождения процессов гниения (Нунупаров, 2017). Другими учеными была разработана прогрессивная система My Fruit, основанная на применении интернета вещей во фруктохранилище с автоматическим параметрами РГС. Система позволяет контролировать и поддерживать необходимый уровень O_2 и CO_2 , концентрацию этилена, температуру и относительную влажность в хранилище. В системе предусмо-

трены датчики сканирования цвета продукции для определения ее качества⁸.

«Умные» хранилища для овощей и фруктов позволяют мониторить состояние хранимой продукции с помощью специальных алгоритмов в режиме реального времени. При нарушении условий хранения система исправляет ситуацию и оповещает об изменениях. Автоматизация процессов хранения позволяет снизить затраты на персонал и улучшить условия хранения собранного урожая, а также сократить потери в овощехранилищах на 30 % (Норалиев и соавт., 2020; Idama et al., 2023; Karpagalakshmi et al., 2020; Tileukeev et al., 2023). Так, для автоматизированного хранения овощей было разработано программное обеспечение ПТК «Тургор АМ». Система позволяет создавать оптимальные условия микроклимата в овощехранилище, обеспечивая как ручной, так и автоматический контроль таких технологических процедур, как просушка, лечебный период, охлаждение, основное хранение, адаптация. Управление осуществляется с помощью автоматизированного контроля температуры, влажности, поступления воздуха, а также энергопотребления с построением графиков на ПК⁹. Был разработан прототип программно-аппаратной части системы мониторинга термометрии навалного хранения овощей, который позволяет анализировать и прогнозировать процессы порчи, протекающие при хранении. Внедрение датчиков контроля температуры в навалную насыпь овощей позволяет собирать и анализировать данные о температурном режиме внутри хранилища, что, в свою очередь, способствует снижению потерь продукции во время хранения¹⁰. Научно-исследовательской лабораторией автоматизации проектирования разработана система «Агротерм», которая, помимо вышеперечисленных процессов, предоставляет возможность мониторинга таких процессов, как сортировка и упаковка. Управление технологическими процессами хранилища может выполняться как

⁷ Система дистанционного контроля и контроля температуры. <https://www.sagimuhendislik.com/uzaktan-sicaklik-izleme-ve-kontrol-sistemi.html>

⁸ Новости. EastFruit. <https://east-fruit.ru/novosti/sistema-upravleniya-oborudovaniem-khranilishcha-my-fruit-dlya-ukrainskikh-sadovodov/index.html#:~:text=My%20Fruit%20-%20это%20прогрессивная,от%20дыхания%20фруктов%20до%20минимума>

⁹ Программное обеспечение Тургор АМ. <https://belsnabkomplekt.ru/turgor-am/sostav-turgor/po-turgor-am/>

¹⁰ Разработка прототипа программно-аппаратной части системы мониторинга термометрии навалного хранения овощей в овощехранилище. <https://pt.2035.university/project/razrabotka-prototipa-programmno-apparatnoj-casti-sistemy-monitoringa-termometrii-navalnogo-hranenia-ovosej-v-ovosehranilise>

Рисунок 5

Направления использования ИИ в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья

Figure 5

Directions of Using AI in the Field of Storage and Processing of Agricultural Raw Materials



Примечание. Составлено с опорой на исследования Chauhan et al. (2022); Hassoun et al. (2023); Mao et al. (2023); Mediavilla et al. (2022); Rathee et al. (2021); Sari (2020); Seyedghorban et al. (2020); Sgarbossa et al. (2022); Tuskov et al. (2020); Wei et al. (2019).

с автоматического рабочего места оператора, так и с контроллера, который находится в овощехранилище¹¹.

Разработана и уже применяется система гиперспектральной визуализации для оценки параметров качества фруктов, овощей и грибов как по определенным переменным (цвет, твердость, кислотность, содержание сахаров), так и по комплексным свойствам (зрелость, созревание, биотические дефекты, физиологические нарушения, механические повреждения, сенсорные качества). Целью гиперспектральной визуализации является получение спектра для каждого пикселя изображения, что необходимо для обнаружения объектов и процессов, а также идентификации материалов (Bai et al., 2024; Guo et al., 2023; Tunny et al., 2023; Wieme et al., 2022).

Разработан ряд оптических систем на основе гиперспектральной визуализации для

- (1) определения созревания бананов путем прогнозирования количества пигмента хлорофилла в кожуре плода (Wang et al., 2023),
- (2) определения содержания хлорофилла и антоцианов в салате-латуке (Kim et al., 2023),
- (3) определения содержания хлорофилла и каротиноидов в болгарском перце (Paredes et al., 2019),
- (4) прогнозирования содержания растворимых сухих веществ яблок сорта Голден Делишес (Zhang et al. 2019),
- (5) определения степени зрелости в клубнике (Su et al., 2021),
- (6) определения свежести шпината и китайской капусты (He et al., 2024),
- (7) распознавания степени зрелости яблок (Li et al., 2018).

На основе гиперспектральной визуализации Балабановым и соавт. предложена информационно-измерительная система для сортировки яблок в зависимости от их качества в режиме реального времени с одновременной отбраковкой дефектных плодов от качественных (Балабанов и соавт., 2022). Норвежская компания представила систему сортировки для голубики, разработанную путем создания библиотеки с сотнями тысяч изображе-

ний эталонных ягод, относящихся к конкретному сорту и сезону (Hassoun et al., 2023). Также спроектирована интеллектуальная система сортировки томатов. Томаты можно классифицировать в зависимости от спелости в соответствии с их жизненным циклом, который можно определить по цвету: зеленый — на стадии выращивания, желтый — на стадии предварительного созревания и красный — на стадии созревания. Автоматическое извлечение признаков с помощью машинного обучения демонстрирует высокую эффективность в задачах классификации и распознавания изображений (Sari, 2022).

Разработаны системы сортировки с искусственным интеллектом не только для внешнего анализа качества фруктов и овощей, но и для внутреннего контроля качества упакованных фруктов и овощей, позволяющие определять различные болезни, например, гниль (Abdul Aziz et al., 2021; Hassoun et al., 2023; Yang et al., 2022; Zhou et al., 2023).

Для применения в пищевой промышленности созданы интеллектуальные этикетки, способные отслеживать состояние качества продукции и ее микробную обсемененность (Arya et al., 2021; Chen et al., 2023; Liu et al., 2023; Rong et al., 2023; Ronte et al., 2024). Так, представлена разработка умной этикетки, контролирующей температуру во время хранения и транспортировки продукции, требовательной к температуре. Этикетка оснащается светодиодными детекторами, которые загораются при несоблюдении температурного режима, мгновенно информируя человека об этом (Крюк и соавт., 2023). Помимо определения качества продукта, существуют специальные QR-метки для отслеживания продукции в цепочке поставок (Dey et al., 2021; Peltokorpi et al., 2021; Wang et al., 2022; Wang et al., 2021). Было разработано устройство, которое наклеивает QR-метки на каждый фрукт и фиксирует изображение в процессе транспортировки (Hassoun et al., 2023).

¹¹ Автоматизация овощехранилищ или как сохранить урожай зимой. <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/avtomatizatsiya-ovoshchekhranilishch-ili-kak-sokhranit-urozhay-zimoy>

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Фрагментарность цифровых решений

Несмотря на то, что инновационные технологии помогают фермерским хозяйствам оптимизировать производственную деятельность, снижать затраты, повышать эффективность, доступ к подобным решениям остается достаточно фрагментарным. Аграрии отмечают отсутствие комплексного подхода и разрыв цифровых цепочек, что сказывается на скорости развития цифровой трансформации сельскохозяйственного сектора. Наши наблюдения согласуются с результатами исследований Горохова (2021), Жукова и соавт. (2020), которые также отмечают проблему фрагментарности и недостатка интеграции между различными системами в российском сельском хозяйстве. Незамова и соавт. (2022) и Kurnosova et al. (2021) также подчеркивают необходимость перехода от фрагментарных решений к комплексным платформам.

На основе изученных материалов исследований нам удалось выявить причины фрагментарности данного процесса:

- (1) разнообразие форматов данных, используемых различными сельскохозяйственными системами, затрудняет их интеграцию и обмен информацией;
- (2) фермеры часто используют отдельные решения для разных задач, что приводит к разрозненности данных и затрудняет создание единой картины производственного процесса;
- (3) фермерские хозяйства различаются по размерам, специализации и уровню цифровизации, что усложняет создание универсальных цифровых решений;
- (4) в некоторых странах отсутствует четкая государственная политика по цифровизации сельского хозяйства, что приводит к нехватке координации и стимулирования создания интегрированных решений.

Таким образом, проведенный обзор свидетельствует, что несмотря на значительное количество разработанных цифровых инструментов для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, отсутствует единая система (платформа), интегрирующая все этапы производственного цикла.

Использование информационных технологий наряду с традиционными методами определения качества

В результате нашего исследования выявлено, что, несмотря на значительное количество разработанных цифровых инструментов для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, их интеграция с традиционными лабораторными методами определения качества остается слабым звеном. Наши наблюдения согласуются с результатами исследований Behera et al. (2020), Rizzo et al. (2023), которые подчеркивают, что искусственный интеллект эффективен в определении степени зрелости фруктов, но не заменяет полностью традиционные методы анализа состава и качественных показателей. Bhargava et al. (2021), Korchagin et al. (2021) также отмечают, что система компьютерного зрения эффективна в отбраковке дефектных овощей, но ее точность может быть повышена путем интеграции с данными лабораторных анализов.

На основе изученных материалов исследований нам удалось выявить причины необходимости совместного использования информационных технологий с традиционными методами определения качества в лабораторных условиях:

- (1) традиционные методы, такие как визуальная оценка, измерение параметров качества и анализ химических свойств продуктов зарекомендовали себя как надежные и общепринятые подходы, однако и у них есть свои преимущества и ограничения. Внедрение искусственного интеллекта может повысить точность и производительность этих методов, а также расширить их возможности через применение новых технологий, таких как машинное обучение, обработка изображений и анализ данных;
- (2) традиционные методы могут оказаться недостаточно эффективными для работы с большими объемами данных; задачи, связанные с обработкой данных, имеют большое значение и часто требуют решения. Искусственный интеллект может помочь в обработке данных в реальном времени, автоматизации процессов и принятии быстрых решений на основе большого объема информации;
- (3) интеграция искусственного интеллекта с традиционными методами позволит создать более точные и надежные системы контроля

Рисунок 6

Взаимосвязь науки и цифровизации

Figure 6

The Relationship Between Science and Digitalization



качества продукции, что сделает процессы хранения и переработки овощей и фруктов более эффективными, экономичными и безопасными для потребителей (Рисунок 6).

Интеграция искусственного интеллекта с традиционными лабораторными методами позволит:

- (1) анализировать большие объемы данных и находить закономерности, которые не видны человеческому глазу, тем самым повышая точность прогнозов и выводов;
- (2) автоматизировать рутинные задачи, освобождая специалистов для решения более сложных проблем;
- (3) снизить риски путем выявления отклонений от норм и предупреждать о потенциальных проблемах, что, в свою очередь, повышает безопасность процессов.

Таким образом, интеграция искусственного интеллекта с лабораторными методами позволит создать более полное представление о качестве продукции, увеличить точность и скорость анализа, а также обеспечить более эффективное и безопасное хранение и переработку овощей и фруктов.

Единые стандарты обмена данными

Для успешной интеграции искусственного интеллекта с лабораторными методами необходимо решить проблему взаимосвязи между различными системами и платформами. Важно разработать единые стандарты обмена данными и комплексные решения, которые объединяют искусственный интеллект с традиционными лабораторными анализами.

Унификация стандартов и координация между системами позволит

- (1) различным системам взаимодействовать между собой, создавая единую информационную среду;
- (2) упростить интеграцию различных систем и сократить время и затраты на этот процесс;
- (3) легко расширить и модифицировать систему, добавляя новые данные и функциональность.

Создания комплексной платформы

Необходимость создания комплексной платформы, которая будет обеспечивать интеграцию данных из разных систем и позволит фермерам получать единую картину производственного процесса, подтверждается мнениями некоторых авторов (Алтухов и соавт., 2020, Архипов и соавт., 2019).

Комплексные платформы должны учитывать разнообразие потребностей фермерских хозяйств и обеспечивать гибкость в применении. Кроме того, важно разрабатывать комплексные платформы на основе единых стандартов для обмена данными, которые бы обеспечивали интеграцию искусственного интеллекта с традиционными лабораторными методами. Это создаст условия для повышения квалификации специалистов в области цифровых технологий в сельском хозяйстве.

Разработка комплексных платформ позволит

- (1) повысить эффективность производственного процесса, т. е. объединение данных из разных систем обеспечит целостное представление о процессе, выявит узкие места и содействует оптимизации работы;
- (2) улучшить качество принимаемых решений, комплексный анализ данных позволит получить более точные и аргументированные

- решения, основанные на всей доступной информации;
- (3) сократить время на анализ и обработку данных, т. е. автоматизация процессов сбора, обработки и анализа данных существенно сэкономит время и ресурсы;
 - (4) оптимизировать использование ресурсов (вода, удобрения, пестициды), сократить потери урожая, повысить точность прогнозов погоды и предрасположенности к болезням, что, в свою очередь, приведет к значительному увеличению производительности;
 - (5) снизить трудозатраты, а контроль качества на всех этапах производства, оптимизация условий хранения и повышение безопасности пищевых продуктов обеспечат высокое качество продукции;
 - (6) минимизировать риски, связанные с климатическими изменениями и болезнями, что способствует предотвращению потерь урожая;
 - (7) повысить конкурентоспособность агропромышленного комплекса на внутреннем и международном рынке.

В результате проведенного обзора выявлен значительный потенциал применения цифровых технологий в сфере хранения и переработки сельскохозяйственного сырья (включающий оптимизацию производственных процессов, снижение затрат и повышение эффективности), однако также были обнаружены существенные ограничения. К числу последних относятся: фрагментарность существующих решений, слабая интеграция цифровых инструментов с традиционными лабораторными методами и отсутствие единых стандартов для обмена данными. Указанные проблемы подробно рассматриваются в научной литературе и подтверждают наличие системных барьеров, препятствующих эффективному внедрению цифровых технологий в агропромышленный комплекс. Вместе с тем, в ходе анализа были выявлены и менее ожидаемые аспекты. Во-первых, несмотря на активное развитие технологий искусственного интеллекта, их интеграция с традиционными методами оценки качества продукции остается на недостаточном уровне, что ограничивает полноту аналитических возможностей и достоверность принимаемых решений. Во-вторых, отсутствует целостная стратегическая рамка цифровизации отрасли: недостаток согласованных мер координации и поддержки на государственном уровне существенно затрудняет фор-

мирование интегрированных цифровых решений и устойчивое развитие цифровой трансформации сельского хозяйства. Выявленные аспекты формируют основу для дальнейших теоретических и прикладных исследований в данной области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе обзора предметного поля было выявлено, что цифровые технологии, применяемые в хранении и переработке сельскохозяйственного сырья, обладают значительным потенциалом для оптимизации производственных процессов, снижения затрат и повышения эффективности. Однако существующие цифровые решения отличаются фрагментарностью и недостаточной интеграцией между собой, что препятствует созданию единой картины производственного процесса и ограничивает возможности для эффективного использования цифровых технологий в сельском хозяйстве.

В ходе исследования были успешно систематизированы и обобщены существующие цифровые методы и технологии, применяемые в хранении и переработке сельскохозяйственного сырья, выявлены их сильные стороны, ограничения и перспективы интеграции с традиционными лабораторными методами определения качества. Кроме того, были установлены ключевые факторы, препятствующие комплексному внедрению цифровых решений, а именно отсутствие единых стандартов для обмена данными и недостаточная координация между различными системами и платформами.

Полученные результаты подтверждают необходимость перехода от фрагментарных решений к комплексным платформам, которые обеспечивают интеграцию данных из разных систем и позволяют фермерам получать целостную картину производственного процесса. Интеграция искусственного интеллекта с традиционными лабораторными методами оценки качества является важным направлением для повышения эффективности и безопасности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегии цифровизации сельского хозяйства, направленной на создание единой платформы для обмена данными и интеграции раз-

личных цифровых решений. Кроме того, результаты могут быть использованы для разработки новых цифровых решений, учитывающих необходимость интеграции с традиционными лабораторными методами определения качества.

Исследование было проведено на основе анализа существующей научной литературы и не включало практические эксперименты, что ограничивает возможности для более глубокого анализа практических аспектов внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве. В связи с этим необходимо провести дополнительные исследования по интеграции искусственного интеллекта с традиционными лабораторными методами определения качества, разработке единых стандартов для обмена данными, а также созданию комплексных платформ для управления производственными процессами в сельском хозяйстве.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Татьяна Викторовна Першакова: концептуализация; разработка методологии исследования; руководство исследованием; редактирование рукописи.

Григорий Анатольевич Купин: формулирование цели и задач исследования; проведение исследования; визуализация.

Татьяна Викторовна Яковлева: разработка модели исследования; подготовка и создание рукописи,

в частности, написание окончательного текста рукописи.

Юлия Николаевна Чернявская: подготовка и создание черновика рукописи, в частности, написание первоначального текста рукописи.

Дарья Вадимовна Котвицкая: подготовка и создание черновика рукописи, в частности, написание первоначального текста рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana Viktorovna Pershakova: conceptualization, development of research methodology; research management; editing of the manuscript.

Grigory Anatolyevich Kupin — formulation of research goals and objectives; conducting research; visualization.

Tatiana Viktorovna Yakovleva — development of a research model; preparation and creation of a manuscript, in particular, writing the final text of the manuscript.

Yulia Nikolaevna Chernyavskaya — preparation and creation of a draft manuscript, in particular, writing the original text of the manuscript.

Daria Vadimovna Kotvitskaya — preparation and creation of a draft manuscript, in particular, writing the original text of the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алтухов, А. И., Дудин, М. Н., & Анищенко, А. Н. (2020). Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития агропромышленного сектора России. *Продовольственная политика и безопасность*, 7(2), 81–96.
- Altukhov, A. I., Dudin, M. N., & Anishchenko, A. N. (2020). Digital transformation as a technological breakthrough and transition to a new level of development of the agro-industrial sector in Russia. *Food Policy and Security*, 7(2), 81–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/ppib.7.2.100923>
- Архипов, А. Г., Горбачев, М. И., Косогор, С. Н., Моторин, О. А., Суворов, Г. А., & Труфляк, Е. В. (2019). Цифровая трансформация сельского хозяйства России.. Москва: Росинформагротех.
- Arkhipov, A. G., Gorbachev, M. I., Kosogor, S. N., Motorin, O. A., Suvorov, G. A., & Truflyak, E. V. (2019). Digital transformation of agriculture in Russia. Moskva: Rosinformagrotekh.
- Балабанов, П. В., Жиркова, А. А., Дивин, А. Г., Егоров, А. С., Мищенко, С. В., & Шишкина, Г. В. (2022). Информационно-измерительная система для управления процессом сортировки овощей и фруктов. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*, 28(4), 526–533.

- Balabanov, P. V., Zhirkova, A. A., Divin, A. G., Egorov, A. S., Mishchenko, S. V., & Shishkina, G. V. (2022). An information-measuring system to monitor vegetable and fruit sorting process. *Transactions TSTU*, 28(4), 526–533. (In Russ.). <https://doi.org/10.17277/vestnik.2022.04>
- Валигурский, Д. И., Кузьмина, Т. Т., Рыжова, И. О., Савенко, В. Г., & Гаврилюк, М. В. (2019). Оценка и прогноз развития агропромышленного комплекса. *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*, (4), 118–127.
- Valigursky, D. I., Kuzmina, T. T., Ryzhova, I. O., Savenko, V. G., & Gavrilyuk, M. V. (2019). Assessment and forecast of development of the agroindustrial complex. *Fundamental'nye i Prikladnye Issledovaniya Kooperativnogo Sektora Ekonomiki*, (4), 118–127. (In Russ.).
- Водясов, П. В. (2018). Фактическая и нормативная самообеспеченность продовольствием. *Агропродовольственная экономика*, (4), 13–20.
- Vodyasov, P. V. (2018). Actual and regulatore self-sufficiency in food. *Agroprodovol'stvennaja Ekonomika*, (4), 13–20. (In Russ.).
- Горохова, О. В. (2021). Цифровая трансформация агропромышленного сектора России: вызовы и возможности. *Инновации. Наука. Образование*, (47), 373–381.
- Gorokhova, O. V. (2021). Cifrovaja transformacija agropromyshlennogo sektora Rossii: Vyzovy i vozmozhnosti. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie*, (47), 373–381. (In Russ.).
- Добровлянин, В. Д., & Антисескул, Е. А. (2022). Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего развития. *Цифровые модели и решения*, 1(2), 59–74.
- Dobrovlyanin, V. D., & Antineskul, E. A. (2022). Digitalization is developing: The level of digitalization in Russia and the prospects for sustainable development. *Digital Models and Solutions*, 1(2), 59–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2782-4934-2022-1-2-5>
- Жукова, М. А., & Улезко, А. В. (2020). Концептуальный подход к формированию цифровой платформы агропродовольственного комплекса. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 13, (4), 238–250.
- Zhukova, M. A., & Ulez'ko, A. V. (2020). Conceptual approach to creating a digital platform for the agro-food complex. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 13, (4), 238–250. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.238>
- Жуплей, И. В. (2021). Теоретические аспекты цифровизации сельского хозяйства России. *Повышение экономической эффективности работы организаций в условиях цифровой экономики* (с. 22–25). Чебоксары: Среда.
- Zhuplej, I. V. (2021). Teoreticheskie aspekty cifrovizacii sel'skogo hozjajstva Rossii. *Povyshenie jekonomicheskoy jeffektivnosti raboty organizacij v uslovijah cifrovoj jekonomiki* (s. 22–25). (In Russ.). Cheboksary: Sreda.
- Клюкин, А. Д. (2022). Современное развитие цифровизации АПК: отечественный и зарубежный опыт. *Аграрная экономика*, (12), 72–86.
- Kliukin, A. D. (2022). Modern development of digitalization of the agroindustrial complex: Domestic and foreign experience. *Agrarian Economics*, (12), 72–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2022-12-72-86>
- Кострова, Ю. Б., & Шибаршина, О. Ю. (2020). К вопросу о необходимости цифровизации АПК. *Заметки ученого*, (7), 92–94.
- Kostrova, Ju. B., & Shibarshina, O. Ju. (2020). On the need for digitalization of the agro-industrial complex. *Zametki Uchenogo*, (7), 92–94. (In Russ.).
- Крюк, Р. В., Фомин, А. Ю., Курбанова, М. Г., Мухим-заде, М., & Крюк, В. А. (2023). Интеллектуальные датчики для контролирования сроков годности пищевых продуктов. *Холодильная техника и биотехнологии: сборник тезисов IV национальной конференции* (с. 130–131). Барнаул: Алтайский государственный технический университет.
- Krjuk, R. V., Fomin, A. Ju., Kurbanova, M. G., Muhim-zade, M., & Krjuk, V. A. (2023). Intelletal'nye datchiki dlja kontrolirovaniya srokov godnosti pishhevyh produktov. *Holodil'naja Tehnika i Biotehnologii: Sbornik tezisov IV nacional'noj konferencii* (s. 130–131). Barnaul: Altai State Technical University. (In Russ.).
- Кудинова, М. Г., & Кузнецова, А. В. (2023). Основные направления обеспечения продовольственной безопасности и уровня самообеспечения сельскохозяйственной продукцией населения Алтайского края. *Вектор экономики*, 11(89).

- Kudinova, M. G., & Kuznetsova, A. V. (2023). The main directions of ensuring food security and the level of self-sufficiency in agricultural products of the population of the Altai Territory. *Vectoreconomy*, 11(89). (In Russ.).
- Незамова, О. А., Ступина, А. А., & Оленцова, Ю. А. (2022). Цифровизация как основной тренд развития сельского хозяйства. *Азимут научных исследований: экономика и управление*, 11(2), 72–76. <https://doi.org/10.57145/27128482-2022-11-02-16>
- Nezamova, O. A., Stupina, A. A., & Olentsova, Yu. A. (2022). Digitalization as the main trend in the development of agriculture. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, 11(2), 72–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.57145/27128482-2022-11-02-16>
- Норалиев, Н. Х., & Юсупова, Ф. Э. (2020). Цифровые технологии в сельском хозяйстве. *Вопросы науки и образования*, 8(92), 4–10.
- Noraliev, N. H., & Jusupova, F. Je. (2020). Cifrovye tehnologii v sel'skom hozjajstve. *Voprosy Nauki i Obrazovaniya*, 8(92), 4–10. (In Russ.).
- Нунупаров, М. С. (2017). Интернет Вещей в хранении сахарной свеклы в кагатах. *Сахар*, (7), 40–41.
- Nunuparov, M. S. (2017). Internet Veshhej v hranenii saharnoj svekly v kagatah. *Sahar*, (7), 40–41. (In Russ.).
- Рогачева, Н. О., Барсукова, Н. В., & Ванюшина, О. И. (2020). Цифровизация сельского хозяйства Рязанского региона. Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых (вып. 5, с. 270–273). Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет.
- Rogacheva, N. O., Barsukova, N. V., & Vanjushina, O. I. (2020). Cifrovizacija sel'skogo hozjajstva Rjazanskogo regiona. *Molodezh' i nauka: shag k uspehu, Sbornik nauchnyh statej 4-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh* (vol. 5, s. 270–273). (In Russ.). Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University.
- Салтанова, Т. А., & Митина, И. А. (2022). Цифровая трансформация агропромышленного комплекса Российской экономики. *Вестник Ростовского государственного экономического университета*, 1(77), 45–51. <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.90.79.006>
- Saltanova, T. A., & Mitina, I. A. (2022). Digital transformation of the agro-industrial complex of Russian economy. *Vestnik of Rostov State University of Economics*, 1(77), 45–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.90.79.006>
- Сибиряев, А. С. (2023). Методика обоснования внедрения цифровых платформ в отрасли сельского хозяйства. *Вестник НГИЭИ*, 12, 125–135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-12-125-135>
- Sibiryayev, A. S. (2023). Methodology for justification of implementation of digital platforms in the agriculture industry. *Bulletin NGIEI*, 12, 125–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-12-125-135>
- Трушкин, В. А., Глушкина, А. А., & Царина, С. Б. (2022). Перспективы цифровизации в агропромышленном комплексе. *Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIII Национальной научно-практической конференции* (с. 168–171). Саратов: Амирит.
- Trushkin, V. A., Glushkina, A. A., & Carina, S. B. (2022). Perspektivy cifrovizacii v agropromyshlennom komplekse. *Aktual'nye Problemy Jenergetiki APK: Materialy XIII Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii* (s. 168–171). (In Russ.). Saratov: Amirit.
- Чеккуева, Л. К. (2019). Преимущества и недостатки цифровизации сельского хозяйства России. *Kant*, 4(33), 108–112.
- Chekkueva, L. K. (2019). Advantages and disadvantages of digitalization of agriculture in Russia. *Kant*, 4(33), 108–112. (In Russ.).
- Шатохин, М. В., Гордеев, И. А., Игнатова, М. Н., & Кремер, К. А. (2021). Состояние и перспективы цифровизации регионального АПК. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (8), 102–109.
- Shatokhin, M. V., Gordeev, I. A., Ignatova, M. N., & Kremer, K. A. (2021). State and prospects of digitalization of the regional agricultural industry. *Vestnik Kurskoj Gosudarstvennoj Sel'skhozjajstvennoj Akademii*, (8), 102–109. (In Russ.).
- Шереужева, М. А. (2020). Роль государства в развитии АПК и направления поддержки отрасли. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 10(9–1), 407–414. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.39.44.046>

- Shereuzheva, M. A. (2020). The role of the state in the development of agriculture and the direction of support for the industry. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 10(9–1), 407–414. (In Russ.). <https://doi.org/10.34670/AR.2020.39.44.046>
- Abdul Aziz, M. F., Bukhari, W. M., Sukhaimie, M. N., Izzuddin, T. A., Norasikin, M. A., Rasid, A. F. A., & Bazilah, N. F. (2021). Development of smart sorting machine using artificial intelligence for chili fertigation industries. *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 15(4), 44–52. <https://doi.org/10.14313/JAMRIS/4-2021/26>
- Afreen, H., & Bajwa, I. S. (2021). An IoT-based real-time intelligent monitoring and notification system of cold storage. *IEEE Access*, 9, 38236–38253. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056672>
- Arya, P. S., & Gangwar, M. (2021). A proposed architecture: Detecting freshness of vegetables using Internet of Things (IoT) & deep learning prediction algorithm. *3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking* (pp. 718–723). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAC3N53548.2021.9725428>
- Bai, Sh., Xiaoab, K., Liua, Q., Mariga, A. M., Yang, W., Fanga, Y., Hua, Q., Gao, H., Chen, H., & Pei, F. (2024). Prediction of moisture content of *Agaricus bisporus* slices as affected by vacuum freeze drying using hyperspectral imaging. *Food Control*, 159, 110290. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110290>
- Behera, S. K., Rath, A. K., Mahapatra, A., & Sethy, P. K. (2020). Identification, classification & grading of fruits using machine learning & computer intelligence: a review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01865-8>
- Bhargava, A., & Bansal, A. (2021). Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 33(3), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.002>
- Chauhan, A., Brouwer, B., & Westra, E. (2022). Robotics for a quality-driven post-harvest supply chain. *Current Robotics Reports*, 3(2), 39–48. <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00075-8>
- Chen, B., Zhang, M., Chen, H., Mujumdar, A. S., & Guo, Z. (2023). Progress in smart labels for rapid quality detection of fruit and vegetables: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 198, 112261. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112261>
- Dey, S., Saha, S., Singh, A. K., & McDonald-Maier, K. (2021). FoodSQRBlock: Digitizing food production and the supply chain with blockchain and QR code in the cloud. *Sustainability*, 13(6), 3486. <https://doi.org/10.3390/su13063486>
- Guo, X., Tseung, Ch., Zare, A., & Liu, T. (2023). Hyperspectral image analysis for the evaluation of chilling injury in avocado fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 206, 112548. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112548>
- Hassoun, A., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Trollman, H., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Trif, M., Rusu, A. V., Aadil, R. M., Šimat, V., Cropotova, J., & Câmara, J. S. (2023). Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *Journal of Food Engineering*, 337, 111216. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111216>
- Hassoun, A., Kamiloglu, S., Garcia-Garcia, G., Parra-López, C., Trollman, H., Jagtap, S., Aadil, R. M., & Esatbeyoglu, T. (2023). Implementation of relevant fourth industrial revolution innovations across the supply chain of fruits and vegetables: A short update on Traceability 4.0. *Food Chemistry*, 409, 135303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135303>
- He, M., Li, C., Cai, Z., Qi, H., Zhou, L., & Zhang, C. (2024). Leafy vegetable freshness identification using hyperspectral imaging with deep learning approaches. *Infrared Physics & Technology*, 105216. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2024.105216>
- Idama, O., & Ekruyota, O. G. (2023). Design and development of a model smart storage system. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 4(1), 125–132. <https://doi.org/10.46592/turkager.1297511>
- Kailaku, S. I., & Djatna, T. (2022). Traceability and quality monitoring improvement throughout carrot supply chain with the implementation of Internet-Of-Things. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012079>
- Karpagalakshmi, R. C., Bharathkumar, S., Vignesh, R., Yogaraj, M., & Naveenkumar, A. (2020). Implementation of automated low cost data warehouse for preserving and monitoring vegetables and fruits. *Journal of Engineering Sciences*, 11(11), 146–151. <https://doi.org/10.15433/JES.2020.V11I11.43P.25>

- Kim, Ch., & Iersel, M. W. (2023). Image-based phenotyping to estimate anthocyanin concentrations in lettuce. *Front. Plant Sci*, 14, 1155722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1155722>
- Korchagin, S. A., Gataullin, S. T., Osipov, A. V., Smirnov, M. V., Suvorov, S. V., Serdechnyi, D. V., & Bublikov, K. V. (2021). Development of an optimal algorithm for detecting damaged and diseased potato tubers moving along a conveyor belt using computer vision systems. *Agronomy*, 11(10), 1980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101980>
- Kurnosova, N. S., Kurnosov, S. A., & Ulez'ko, A. V. (2021). About models of agriculture digital transformation. *Conference series: Earth and Environmental Science*, 786(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/786/1/012011>
- Lamberty, A., & Kreyenschmidt, J. (2022). Ambient parameter monitoring in fresh fruit and vegetable supply chains using internet of things-enabled sensor and communication technology. *Foods*, 11(12), 1777. <https://doi.org/10.3390/foods11121777>
- Li, X., Li, R., Wang, M., Liu, Y., Zhang, B., & Zhou, J. (2018). Hyperspectral imaging and their applications in the nondestructive quality assessment of fruits and vegetables. *Hyperspectral Imaging in Agriculture, Food and Environment*, 27–63. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72250>
- Liu, R., Ning, Y., Ren, Z., Xu, Sh., Cheng, Q., Yang, D., & Wang, L. (2023). An antibacterial and intelligent cellulose-based label self-assembled via electrovalent bonds for a multi-range sensing of food freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 244, 125205. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125205>
- Mao, Z., & Zhang, Q. (2023). Application process design of digital quality monitoring and traceability system for fresh agricultural products. *Digitalization and Management Innovation*, 34–42. <https://doi.org/10.3233/FAIA230005>
- Mediavilla, M. A., Dietrich, F., & Palm, D. (2022). Review and analysis of artificial intelligence methods for demand forecasting in supply chain management. *Procedia CIRP*, 107, 1126–1131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.119>
- Mitrofanova, I. V., Inshakova, E. I., & Dovbiy, I. P. (2023). Digitalization of the Russian agro-industrial complex: modern trends and development problems. *Journal of Volgograd state university. Economics*, 25(2), 59–71. <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2023.2.5>
- Paredes, A. C., Peche, J. Y., & León, N. (2019). Index of carotenoids of bell pepper (*Capsicum annuum*) based on color measurement, using hyperspectral and digital images. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 531–539 <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.10>
- Peltokorpi, J., Isojärvi, L., Häkkinen, K., & Niemi, E. (2021). QR code-based material flow monitoring in a subcontractor manufacturer network. *Procedia Manufacturing*, 55, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.016>
- Rajesh, K., Riyaz, K., Pallavi, B., Reddy, C. S. S., Raamkumar, A., & Baranitharan, B. (2022). A Smart Agriculture Storing System with IOT Based. *International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICICSP53532.2022.9862427>
- Rathee, G., Khelifi, A., & Iqbal, R. (2021). Artificial intelligence-(AI-) enabled Internet of Things (IoT) for secure big data processing in multihoming networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 5754322. <https://doi.org/10.1155/2021/5754322>
- Rehman, A., Saba, T., Kashif, M., Fati, S. M., Bahaj, S. A., & Chaudhry, H. (2022). A revisit of internet of things technologies for monitoring and control strategies in smart agriculture. *Agronomy*, 12(1), 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010127>
- Rizzo, M., Marcuzzo, M., Zangari, A., Gasparetto, A., & Albarelli, A. (2023). Fruit ripeness classification: A survey. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 7, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.02.004>
- Rong, L., Zhang, T., Ma, Y., Wang, T., Liu, Y., & Wu, Zh. (2023). An intelligent label using sodium carboxymethyl cellulose and carrageenan for monitoring the freshness of fresh-cut papaya. *Food Control*, 145, 109420. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109420>
- Ronte, A., Chalitangkoon, J., Foster, E. J., & Monvisade, P. (2024). Development of a pH-responsive intelligent label using low molecular weight chitosan grafted with phenol red for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 266(1), 131212. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131212>
- Sari, M. I., Fajar, R., Gunawan, T., & Handayani, R. (2022). The Use of image processing and sensor in tomato sorting machine by color, Size, and weight. *International Journal on Informatics Visualization*, 6(1–2), 244–249. <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.6.1-2.944>

- Sarı, T. (2020). Responsive demand management in the era of digitization. *Strategic Outlook for Innovative Work Behaviours*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-50131-016>
- Seyedghorban, Z., Tahernejad, H., Meriton, R., & Graham, G. (2020). Supply chain digitalization: Past, present and future. *Production Planning & Control*, 31(23), 96–114. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631461>
- Sgarbossa, F., Romsdal, A., Oluyisola, O. E., & Strandhagen, J. O. (2022). Digitalization in production and warehousing in food supply chains. *The Digital Supply Chain*, 273–287. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91614-1.00016-2>
- Su, Zh., Zhang, Ch., Yan, T., Zhu, J., Zeng, Y., Lu, X., Gao, P., Feng, L., He, L., & Fan, L. (2021). Application of hyperspectral imaging for maturity and soluble solids content determination of strawberry with deep learning approaches. *Frontiers in Plant Science*, 12, 736334. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.736334>
- Tileukeev, Z., Nesipbek, A., & Imashbai, A. (2023). Evaluating and optimizing energy-efficient microclimate control systems in vegetable storage facilities. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2023, 18(3), 623–630. <https://doi.org/10.18280/ij dne.180314>
- Tunny, S. S., Kurniawan, H., Amanah, H. Z., Baek, I., Kim, M. S., Chan, D., Faqeerzada, M. A., Wakholi, C., & Cho, B. K. (2023). Hyperspectral imaging techniques for detection of foreign materials from fresh-cut vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 201, 112373. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112373>
- Tuskov, A., Goldina, A., Luzgina, O., & Salnikova, O. (2020). Optimizing the production parameters of peasant holdings for industrial development in the digitalization era. *Avatar-Based Control, Estimation, Communications, and Development of Neuron Multi-Functional Technology Platforms* (pp. 132–151). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1581-5.ch007>
- Wang, L., He, Y., & Wu, Z. (2022). Design of a blockchain-enabled traceability system framework for food supply chains. *Foods*, 11(5), 744. <https://doi.org/10.3390/foods11050744>
- Wang, L., Xu, L., Zheng, Z., Liu, S., Li, X., Cao, L., Li, J., & Sun, C. (2021). Smart contract-based agricultural food supply chain traceability. *IEEE Access*, 9, 9296–9307. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050112>
- Wangab, M., Tianac, Q., Lia, H., Daid, L., Wane, Y., Wanga, M., Huang, B. H., Zhang, Y., & Chen, J. (2023). Visualization and metabolome for the migration and distribution behavior of pesticides residue in after-ripening of banana. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130665. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130665>
- Wei, F., Alias, C., & Noche, B. (2019). Applications of Digital Technologies in Sustainable Logistics and Supply Chain Management. *Innovative Logistics Services and Sustainable Lifestyles* (pp. 235–263). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98467-4_11
- Wieme, J., Mollazade, K., Malounas, I., Zude-Sasse, M., Zhao, M., Gowen, A., Argyropoulos, D., Fountas, S., & Van Beek, J. (2022). Application of hyperspectral imaging systems and artificial intelligence for quality assessment of fruit, vegetables and mushrooms: A review. *Biosystems Engineering*, 222, 156–176. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.07.013>
- Yang, M., Kumar, P., Bhola, J., & Shabaz, M. (2022). Development of image recognition software based on artificial intelligence algorithm for the efficient sorting of apple fruit. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(1), 322–330. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01415-1>
- Zhang, D., Xu, Y., Huang, W., Tian, X., Xia, Y., Xu, L., & Fan, Sh. (2019). Nondestructive measurement of soluble solids content in apple using near infrared hyperspectral imaging coupled with wavelength selection algorithm. *Infrared Physics & Technology*, 98, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.03.026>
- Zhou, Z., Zahid, U., Majeed, Y., Nisha, Mustafa, S., Sajjad, M. M., Butt, H. D., & Fu, L. (2023). Advancement in artificial intelligence for on-farm fruit sorting and transportation. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1082860. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1082860>