

УДК 004.9:658.5

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЛОГИСТИКЕ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ

Александрова Н.Р., кандидат экономических наук, доцент,

anr73@mail.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Субаева А.К., доктор экономических наук, доцент,

subaeva.ak@mail.ru

Мухаметзянов Р.Р., m.ruf@mail.ru

**ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»**

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, иммерсивные технологии, логистика, *pick-by-vision*.

*Проведён анализ эффективности VR/AR-технологий в логистике. На основе данных PwC и ARtillery Intelligence показана динамика роста мирового рынка иммерсивных решений (CAGR 42%). Выявлены основные направления: *pick-by-vision* (сокращение времени поиска товара на 60%), навигация на складе, VR-тренажёры (снижение времени обучения на 75%). Представлены результаты эмпирического исследования MR-интерфейсов. Предложены этапы внедрения VR/AR на предприятиях АПК.*

Введение. Цифровая трансформация логистики сопровождается активным внедрением VR/AR-технологий. По данным ARtillery Intelligence, объём мирового рынка XR в 2025 году составил 28,5 млрд, к 2030 году прогнозируется рост до 61,4 млрд (CAGR 16,5%) [4]. Расширенный рынок иммерсивных технологий, по оценкам The Business Research Company, вырос с 220,8 млрд в 2025 году до 313,6 млрд в 2026 году (CAGR 42%) [2].

Основные барьеры внедрения: высокая стоимость оборудования, необходимость интеграции с WMS-системами, вопросы кибербезопасности, дефицит кадров.

Цель исследования – анализ применения VR/AR в логистике, оценка эффективности на основе эмпирических данных и разработка рекомендаций для АПК.

VR – технология, создающая полностью искусственную трёхмерную среду, изолирующую пользователя от физического мира. AR – интеграция цифровых объектов в реальную среду. MR – гибридная технология, позволяющая цифровым объектам взаимодействовать с физической средой [3].

Согласно отчёту PwC, китайский рынок MR является наиболее динамичным (рост 25,2% в 2024 году). К 2029 году Китай станет крупнейшим рынком мобильной AR с доходом \$22,5 млрд [1]. Россия, по прогнозам PwC, войдёт в топ-10 стран по скорости внедрения VR/AR в ближайшие 4–5 лет [7].

Результаты исследований и их обсуждение. К основным направлениям применения VR/AR в логистике относятся:

1. Pick-by-vision. AR-очки с визуальными подсказками позволяют сократить время поиска товара на 60%, снизить ошибки комплектации на 40–50%, повысить производительность на 15–20% [8]. Интеграция AR с AI дополнительно оптимизирует маршруты сборки в реальном времени.

2. Навигация на складе. AR отображает маршруты перемещения, наложенные на физическое пространство, что актуально для крупных распределительных центров [5].

3. Обучение персонала. VR-симуляторы обеспечивают безопасную среду для обучения. В эксперименте Kang et al. (2025) MR-интерфейс в задачах удалённого разрешения ошибок обеспечил лучшее пространственное понимание и снижение когнитивной нагрузки по шкале NASA-TLX [3].

4. Сервисное обслуживание. AR предоставляет наглядные инструкции по ремонту, сокращая время простоя оборудования.

В таблице 1 представлены агрегированные данные по показателям эффективности внедрения VR/AR-технологий в логистических операциях.

Таблица 1 – Эффективность применения VR/AR-технологий в логистике

Направление	Показатель
Pick-by-vision	Сокращение времени поиска на 60%, ошибок на 40–50%
VR-обучение	Повышение запоминания на 80%, сокращение времени обучения на 75%
Оптимизация маршрутов (AR)	Сокращение времени в пути на 10–15%, расхода топлива на 5–10%

Современные исследования указывают на синергетический эффект от совместного применения AR/VR и технологий искусственного интеллекта. В работе Lysenko и Omelyanyuk (2025) отмечается, что интеграция AI с AR позволяет:

1. Автоматизировать распознавание объектов – AI-алгоритмы идентифицируют товары и их состояние через AR-устройства без необходимости ручного сканирования;
2. Оптимизировать маршруты в реальном времени – AI анализирует загрузку склада и прогнозирует перемещения, отображая оптимальные пути через AR-интерфейс;
3. Обеспечить предиктивное обслуживание – AI анализирует данные с IoT-датчиков оборудования и через AR предоставляет техническому персоналу информацию о необходимом обслуживании.

На основе анализа литературы и экспертных источников выделены следующие ключевые барьеры:

1. Высокая стоимость внедрения – стоимость AR-очков для промышленного использования варьируется от 2500 до 5000 за единицу, а полномасштабное внедрение на крупном складе (100+ сотрудников) требует инвестиций в размере \$300 000–500 000 только на оборудование.
2. Необходимость кастомизации программного обеспечения – существующие AR-решения требуют адаптации под конкретные WMS-системы и бизнес-процессы, что увеличивает сроки и стоимость внедрения.
3. Проблемы кибербезопасности – AR-устройства передают данные о местоположении, видеопотоки и информацию о товарах, что создаёт дополнительные векторы атак.

4. Эргономические ограничения – длительное использование HMD-устройств может вызывать утомление, головокружение и снижение остроты зрения у части операторов.

5. Дефицит квалифицированных кадров – разработка и поддержка иммерсивных решений требует специалистов редкой квалификации (Unity/Unreal Engine разработчики с опытом AR/VR, 3D-дизайнеры, AI-инженеры).

На основе проведённого анализа предлагаются следующие этапы внедрения VR/AR-технологий в логистические процессы агропромышленных предприятий:

1. Пилотный проект на ограниченном участке – выбор склада или логистического центра с высоким оборотом товаров. Рекомендуется начать с внедрения AR-очков для навигации и pick-by-vision на одном участке комплектации.

2. Оценка экономической эффективности – расчёт ROI с учётом сокращения времени на поиск товара, снижения ошибок и уменьшения затрат на обучение персонала. Согласно данным отраслевых обзоров, окупаемость пилотных проектов в логистике составляет 12–24 месяца [8].

3. Интеграция с существующими WMS и AI-системами – разработка API для обмена данными между AR-устройствами и системой управления складом.

4. Обучение персонала – проведение тренингов для операторов, технических специалистов и руководителей.

5. Поэтапное масштабирование – расширение применения AR/VR на другие участки: приёмка товаров, отгрузка, управление запасами, сервисное обслуживание техники.

Заключение. Технологии виртуальной и дополненной реальности демонстрируют высокий потенциал для оптимизации логистических процессов. Рынок иммерсивных технологий находится в стадии экспоненциального роста: по оценкам The Business Research Company, к 2030 году он может превысить \$1,25 трлн. Наиболее эффективными направлениями применения VR/AR в логистике являются: комплектация заказов (сокращение времени поиска до 60%), навигация на складе, обучение персонала (сокращение времени обучения до 75%) и сервисное обслуживание оборудования.

Эмпирические исследования подтверждают, что MR-интерфейсы в задачах удалённого разрешения ошибок демонстрируют преимущество перед классическими VR-решениями благодаря сохранению пространственного контекста. Синергия AR/VR с технологиями искусственного интеллекта создаёт дополнительные возможности для автоматизации логистических процессов, что подтверждается прогнозами роста рынка AI в сфере иммерсивных технологий до \$450,5 млрд к 2030 году. Для успешной реализации потенциала VR/AR в АПК необходим поэтапный подход, начинающийся с пилотных проектов и сопровождающийся оценкой экономической эффективности и обучением персонала.

Библиографический список:

1. PwC. Global Entertainment & Media Outlook 2025–2029: China summary. – 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pwc.com>
2. The Business Research Company. Immersive Technology Market Report 2026 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchandmarkets.com>
3. Kang, Y., Park, J., Lee, S., et al. Mixed Reality Outperforms Virtual Reality for Remote Error Resolution in Pick-and-Place Tasks // arXiv preprint. – 2025. – arXiv:2502.06141
4. ARtillery Intelligence. Spatial Computing Revenue Forecast, Q1 2026. – Los Angeles, 2026 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arinsider.co>
5. Zhou, Q., Guo, X., Sun, C. The value of Augmented Reality on platform-based supply chains: Impact of Accuracy Effect and Entertainment Effect // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2025. – Vol. 193. – P. 103953. DOI: 10.1016/j.tre.2024.103953.
6. Tadviser. Технологии виртуальной и дополненной реальности (рынок России) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru>
7. Будрина, Е.В. Исследование возможностей применения технологии дополненной реальности в складской логистике на основе анализа опыта в смежных сферах /Е.В. Будрина, А.Ф.

Дурнева// ЭПИ. - 2020. - №4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>

8. AI In Virtual Reality And Augmented Reality Market Report 2026 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/>

**FUNDAMENTALS OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY
TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION IN LOGISTICS:
ANALYSIS OF EFFICIENCY AND IMPLEMENTATION
PROSPECTS**

**Alexandrova N.R.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU
Subaeva A.K., Mukhametzyanov R. R.
Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI**

Keywords: *virtual reality, augmented reality, mixed reality, immersive technologies, logistics, pick-by-vision.*

This article analyzes the effectiveness of VR/AR technologies in logistics. Based on data from PwC and ARtillery Intelligence, the global market for immersive solutions is growing at a CAGR of 42%. Key areas of focus are identified: pick-by-vision (reducing product search time by 60%), warehouse navigation, and VR simulators (reducing training time by 75%). The article presents the results of an empirical study of MR interfaces. Stages of VR/AR implementation in agricultural enterprises are proposed.