

## ***БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ В СКЛАДСКОМ ТЕРМИНАЛЕ: АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ ВНЕДРЕНИЯ***

***Винокуров Л.М.***

*студент специалитета*

*Институт Управления и Цифровых технологий.*

*Российский Университет Транспорта – РУТ(МИИТ)*

*Москва, Россия*

***Тимкова А.Ю.***

*Старший преподаватель кафедры Управление эксплуатационной работой и  
безопасностью на транспорте*

*Институт Управления и Цифровых технологий.*

*Российский Университет Транспорта – РУТ(МИИТ)*

*Москва, Россия*

**Аннотация.** В статье представлено комплексное исследование эффективности внедрения беспилотных технологий в складскую логистику. На основе эмпирического анализа и отраслевой статистики проведена многофакторная оценка преимуществ и ограничений использования автономных транспортных роботов (AGV) и дронов для инвентаризации на складских терминалах. Результаты исследования демонстрируют вариативность эффективности беспилотных технологий в зависимости от характеристик складского комплекса и интенсивности логистических операций.

Ключевая новизна исследования заключается в разработке комплексной методологии оценки экономической эффективности внедрения беспилотных систем в складские терминалы с учетом специфики российского логистического рынка.

**Ключевые слова:** беспилотные транспортные роботы, AGV, складские дроны, автономная инвентаризация, оптимизация складских процессов, экономическая эффективность беспилотных систем.

## ***UNMANNED SYSTEMS IN A WAREHOUSE TERMINAL: AN ANALYSIS OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF IMPLEMENTATION***

***Vinokurov L.M.***

*Specialist student*

*Institute of Management and Digital Technologies.*

*Russian University of Transport – RUT (MIIT)*

*Moscow, Russia*

***Timkova A.Y.***

*Senior Lecturer of the Department of Management of Operational Work and transport safety*

*Institute of Management and Digital Technologies.*

*Russian University Transport – RUT (MIIT)*

*Moscow, Russia*

**Annotation.** The article presents a comprehensive study of the effectiveness of the implementation of unmanned technologies in warehouse logistics. Based on empirical analysis and industry statistics, a multivariate assessment of the advantages and limitations of using autonomous transport robots (AGVs) and drones for inventory at warehouse terminals is carried out logistics operations.

The key novelty of the study lies in the development of a comprehensive methodology for assessing the economic efficiency of implementing unmanned systems in warehouse terminals, taking into account the specifics of the Russian logistics market.

**Keywords:** unmanned transport robots, AGV, warehouse drones, autonomous inventory, optimization of warehouse processes, economic efficiency of unmanned systems.

### **Введение**

Эволюция беспилотных технологий фундаментально трансформирует складскую логистику, формируя новую парадигму организации внутрискладских процессов. Согласно аналитическим данным Global Supply Chain Technology Survey, глобальный рынок складских беспилотных систем

достиг в 2024 году объема 19,2 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста 16,7%<sup>1</sup>.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью объективной квантификации экономической и технологической эффективности различных типов беспилотных систем в контексте российских складских комплексов. Целью работы является многофакторный анализ функциональных преимуществ и ограничений двух основных категорий беспилотных систем: автономных транспортных роботов (AGV) и дронов для инвентаризации, а также формирование методологической базы для определения оптимальной конфигурации беспилотных систем применительно к различным типам складской инфраструктуры.

### **Типология и функциональные характеристики беспилотных систем в складской логистике**

Современные беспилотные системы для складской логистики представлены двумя основными технологическими направлениями: наземными автономными транспортными роботами (AGV) и воздушными дронами для инвентаризации.

Технологической основой функционирования современных AGV является комплекс интегрированных систем: лазерные навигационные модули (LiDAR), системы машинного зрения с функцией распознавания объектов, ультразвуковые датчики обнаружения препятствий и программно-аппаратные комплексы управления на базе алгоритмов искусственного интеллекта.

Беспилотные летательные аппараты (дроны) в складской логистике преимущественно используются для автоматизации процессов инвентаризации. Технические характеристики складских дронов включают высокоточные камеры

---

<sup>1</sup> Global Supply Chain Technology Survey: ежегодный отчет / Oracle. – [Б. м.], 2023. – Текст: непосредственный.

и сканеры штрих-кодов/RFID-меток, автономность полета в диапазоне 30-45 минут, точность позиционирования в пределах 5-10 см, а также интеграцию с WMS (системой управления складом) для автоматической верификации товарных остатков.

### **Сравнительный анализ беспилотных систем для складской логистики**

Таблица 1 демонстрирует ключевые экономические параметры интеграции автономных транспортных систем в складские комплексы разного масштаба, показывая зависимость эффективности от размера операций.

Таблица 1. Экономические показатели внедрения AGV в складские терминалы различных масштабов<sup>2</sup>

<b>Показатель</b>	<b>Малый склад (до 3000 м<sup>2</sup>)</b>	<b>Средний склад (3000-10000 м<sup>2</sup>)</b>	<b>Крупный склад (свыше 10000 м<sup>2</sup>)</b>
Начальные инвестиции, млн руб.	12,4	37,8	86,3
Стоимость одного AGV, млн руб.	3,1	3,1	3,1
Оптимальное количество AGV, шт.	2-3	8-12	18-28
Ежегодные затраты на обслуживание, млн руб.	1,7	4,9	11,2
Экономия на персонале, млн руб./год	4,2	13,6	31,5
Повышение производительности отбора, %	47	64	79
Сокращение операционных ошибок, %	62	73	86
Срок окупаемости, лет	5,2	3,8	3,1

Имплементация AGV демонстрирует дифференцированную экономическую эффективность в зависимости от масштаба складского терминала. Максимальные показатели возврата инвестиций наблюдаются для

<sup>2</sup>Ковалев И.М., Петров В.С. Применение автоматизированных транспортных систем в складской логистике // Логистика и управление цепями поставок. 2023. №4(107). С. 42-58.

крупных логистических комплексов площадью свыше 10000 м<sup>2</sup>, где срок амортизации составляет 3,1 года. Существенное влияние на экономическую результативность оказывает интенсивность товарооборота: при обработке свыше 500 операций в час AGV обеспечивают редукцию удельных затрат на одну операцию в диапазоне 42-57%.

### Эффективность дронов для инвентаризации

Беспилотные летательные аппараты для автоматизации инвентаризации характеризуются иными экономическими параметрами в сравнении с AGV.

В современных условиях цифровизации логистических процессов особую актуальность приобретает автоматизация складского учета. Внедрение беспилотных летательных аппаратов позволяет существенно оптимизировать процедуру инвентаризации, что подтверждается экономическими показателями, представленными в таблице 2. Рассмотрим ключевые индикаторы эффективности данной технологии применительно к складским объектам различной площади.

Таблица 2. Показатели эффективности дронов для инвентаризации в складских терминалах<sup>3</sup>

Показатель	Малый склад (до 3000 м <sup>2</sup> )	Средний склад (3000-10000 м <sup>2</sup> )	Крупный склад (свыше 10000 м <sup>2</sup> )
Начальные инвестиции, млн руб.	1,8	4,2	9,7
Количество дронов, шт.	1	2-3	4-7
Ежегодные затраты на обслуживание, млн руб.	0,3	0,8	1,9
Сокращение времени инвентаризации, %	67	73	86
Повышение точности инвентаризации, п.п.	3,1	4,2	5,8
Экономия на персонале, млн руб./год	1,2	3,7	8,9
Срок окупаемости, лет	2,3	1,8	1,4

<sup>3</sup>Федоров А.В., Михайлова Т.И., Соколов Д.Р. Экономическая эффективность внедрения AGV-технологий на складских комплексах различного масштаба // Вестник транспорта. 2023. №2. С. 124-136.

Анализ данных свидетельствует, что дроны для инвентаризации характеризуются более низким порогом входа в части первоначальных инвестиций и сокращенным сроком окупаемости относительно AGV. Максимальную эффективность беспилотные системы инвентаризации демонстрируют в складских комплексах с высокой плотностью хранения и многоярусным размещением товаров, где конвенциональные методы инвентаризации демонстрируют технологические ограничения.

### **Технологические ограничения беспилотных систем в складской логистике**

Имплементация беспилотных технологий в складскую логистику сопряжена с техническими ограничениями, требующими учета при формировании инвестиционных программ. Для AGV характерны технологические ограничения в части адаптивности к модификациям планировки складского пространства, энергетической автономности, ограничений по номенклатуре обрабатываемых грузов и зависимости от качества напольного покрытия<sup>4</sup>.

Дроны для инвентаризации имеют лимитированное время автономного полета, создают технологические риски воздействия воздушных потоков на легкие товары, характеризуются ограничениями систем распознавания при работе с товарами со сложной или поврежденной маркировкой, а также требуют соблюдения нормативных требований по эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в закрытых помещениях.

---

<sup>4</sup>Автоматизированные транспортные системы в складской логистике: экономический анализ и перспективы внедрения / под ред. А.Н. Смирнова. М.: Издательство «Логистика», 2024. 312 с.

### **Заключение**

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Экономическая эффективность беспилотных систем в складской логистике демонстрирует выраженную зависимость от масштаба складского комплекса, с прогрессивным повышением показателей окупаемости при увеличении площади и товарооборота.

2. Дифференцированная экономическая результативность AGV и дронов для инвентаризации детерминирует их комплементарное использование: AGV оптимальны для трансформации транспортных операций, тогда как дроны демонстрируют максимальную эффективность в процессах инвентаризации высокостеллажных зон хранения.

3. Разработанная мультифакторная модель оценки эффективности внедрения беспилотных систем позволяет определять оптимальную конфигурацию беспилотной инфраструктуры для конкретных складских комплексов с учетом их функциональной и пространственной специфики.

4. Технологические ограничения современных беспилотных систем имеют прогнозируемый характер и могут быть компенсированы через адаптивное проектирование складской инфраструктуры и интеграцию комплементарных технологических решений.

Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале трансформации складской логистики на основе беспилотных технологий при условии адекватной оценки экономической целесообразности их внедрения с учетом специфики конкретных складских объектов.

### **Библиографический список**

1. Global Supply Chain Technology Survey : ежегодный отчет / Oracle. – [Б. м.], 2023. – Текст : непосредственный.

2. Автоматизированные транспортные системы в складской логистике: экономический анализ и перспективы внедрения / под ред. А.Н. Смирнова. М.: Издательство «Логистика», 2024. 312 с.
3. Ковалев И.М., Петров В.С. Применение автоматизированных транспортных систем в складской логистике // Логистика и управление цепями поставок. 2023. №4(107). С. 42-58.
4. Федоров А.В., Михайлова Т.И., Соколов Д.Р. Экономическая эффективность внедрения AGV-технологий на складских комплексах различного масштаба // Вестник транспорта. 2023. №2. С. 124-136.

*Оригинальность 75%*