

УДК 658.7

***ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ И СКЛАДСКИХ ИЗДЕРЖЕК
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ВИДЕОКОНТРОЛЯ***

Фомина И.В.

студент

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, Россия*

Аннотация: В статье рассматриваются возможности применения технологий компьютерного зрения и интеллектуального видеоконтроля для оптимизации логистических и складских издержек на предприятиях машиностроительной отрасли. Предложена классификация задач компьютерного зрения для логистики. Проанализирован опыт внедрения интеллектуальных систем видеомониторинга, позволяющих в реальном времени выявлять ошибки идентификации, простой и нерациональное использование ресурсов.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное зрение, видеоаналитика, логистические издержки, складские операции, управление затратами, цифровая трансформация.

***OPTIMIZATION OF LOGISTICAL AND WAREHOUSE COSTS OF AN
INDUSTRIAL ENTERPRISE BASED ON COMPUTER VISION AND
INTELLIGENT VIDEO CONTROL TECHNOLOGIES***

Fomina I. V.

Student

*BMSTU (National Research University) Kaluga Branch
Kaluga, Russia*

Annotation: The article discusses the possibilities of using computer vision technologies and intelligent video monitoring to optimize logistics and warehouse costs at engineering enterprises. A classification of computer vision tasks for logistics is proposed. The experience of implementing intelligent video monitoring systems is analyzed, which allow for real-time identification of identification errors, downtime, and inefficient use of resources.

Keywords: computer vision, machine vision, video analytics, logistics costs, warehouse operations, cost management, and digital transformation.

Логистические издержки машиностроительных предприятий составляют значительную долю в структуре себестоимости продукции, при этом большая часть данных затрат относится к категории скрытых потерь: простои транспорта и персонала, ошибки при отгрузке и приемке, порча товаров, нерациональное использование складских площадей.

Традиционные системы управления складом и учета затрат базируются преимущественно на планово-нормативных показателях и данных, вводимыми вручную, что создает ряд ограничений:

- запаздывание информации о возникновении потерь;
- усреднение данных, не позволяющее выявить конкретные причины отклонений;
- высокий риск ошибок, связанных с человеческим фактором;
- невозможность сплошного контроля высокоскоростных процессов.

Развитие технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта открывает новые возможности для преодоления вышеизложенных ограничений. Интеллектуальные видеосистемы способны в реальном времени фиксировать и анализировать складские операции, автоматически выявлять отклонения и предоставлять детализированные данные для управления затратами

Компьютерное зрение на промышленном предприятии может решать широкий спектр задач, классификация которых представлена в таблице 1.

Международный союз электросвязи определяет требования и структуру для систем машинного зрения на основе искусственного интеллекта на "умном" складе материально-технического обеспечения, подчеркивая эволюцию складских операций от тяжелого ручного труда к интеллектуальным и автоматизированным решениям [1].

Таблица 1 - Классификация задач компьютерного зрения в логистике

Категория задач	Функции	Объекты контроля	Влияние на издержки
Идентификация	Распознавание маркировки, штрих-кодов на деталях и комплектующих	Заготовки, готовые детали, инструмент, тара	Снижение ошибок комплектации, ускорение приемки.
Детекция и классификация	Обнаружение объектов, определение их типа	Металлопрокат, литье, поковки, сборочные единицы	Точность учета, контроль соблюдения технологий размещения
Сегментация	Выделение границ объектов, определение размеров, контроль заполнения объема	Штабеля проката, контейнеры с заготовками, стеллажи	Оптимизация размещения, контроль заполнения склада
Трекинг	Отслеживание перемещений, построение траекторий движения	Мостовые краны, электрокары, роботизированные тележки, персонал	Анализ маршрутов, выявление простоев, оптимизация транспортных потоков
Распознавание состояний	Фиксация событий, нарушений, дефектов, контроль геометрии	Повреждения деталей, коррозия, деформация, нарушения укладки	Снижение потерь от брака и нарушений условий хранения
Контроль загрузки	Определение объема и равномерности загрузки транспортных средств	Железнодорожные платформы, контейнеры	Повышение эффективности использования транспорта

Источник: составлено автором по материалам [1].

Представленная классификация демонстрирует, что технологии компьютерного зрения охватывают все ключевые этапы складских операций - от идентификации поступающих грузов до контроля их перемещения и загрузки. Реализация данных задач позволяет воздействовать на различные категории логистических издержек: снижать ошибки комплектации, минимизировать простои транспорта и персонала, предотвращать повреждение деталей, а также оптимизировать использование складских площадей.

В машиностроении особое значение приобретает интеграция систем компьютерного зрения с MES-системами для обеспечения принципа «точно в срок» при подаче комплектующих на сборочные линии. Как отмечается в аналитических материалах по автоматизации автопроизводств, искусственный интеллект связывает склад напрямую с производственными линиями: когда конвейеру нужна новая партия деталей - она уже подъезжает; если произошла замена в заказе - склад автоматически пересчитывает комплектацию, что убирает роль «человека-посредника» между складом и производством.

Для понимания потенциала оптимизации логистических издержек на основе технологий компьютерного зрения необходимо идентифицировать ключевые источники возникновения складских потерь. Анализ деятельности машиностроительного предприятия позволили выделить основные категории потерь и оценить их удельный вес в общей структуре. Результаты анализа представлены на рис.1.

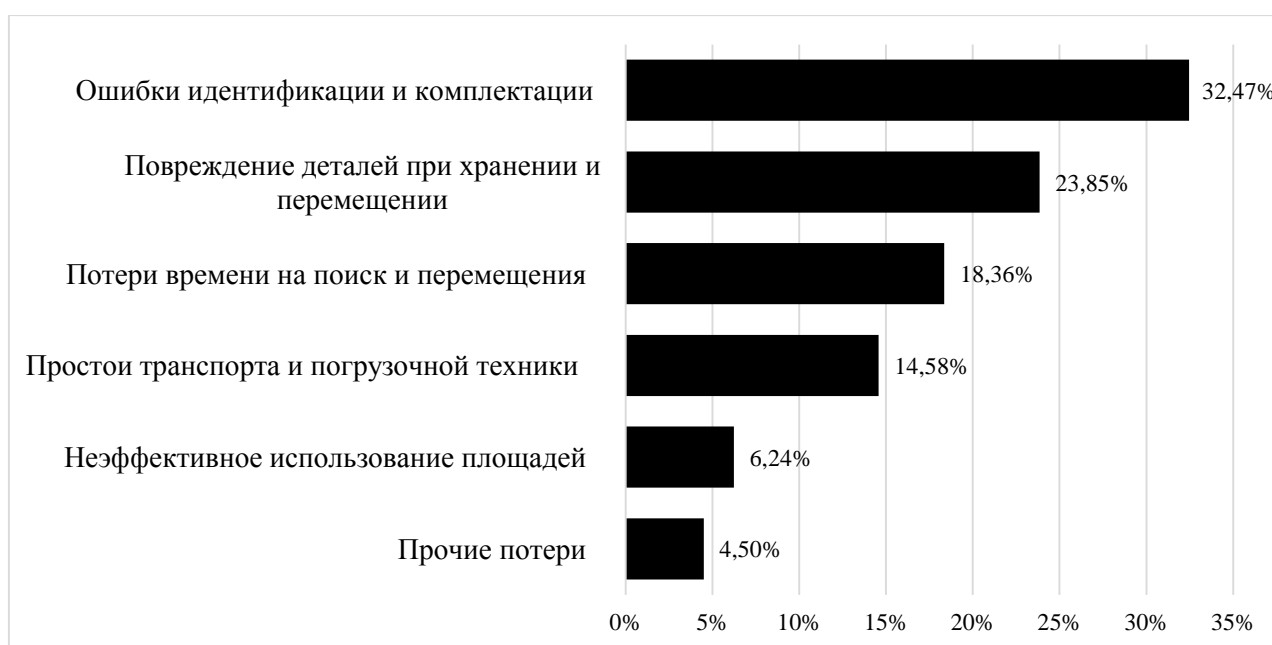


Рис.1 - Структура потерь на складе машиностроительного предприятия, %

Источник: составлено автором по данным предприятия.

По данным рис.1 можно сделать вывод, что наибольший удельный вес в структуре складских потерь занимают ошибки идентификации и комплектации (32,47%), что подтверждает высокую актуальность внедрения систем

компьютерного зрения для автоматического распознавания номенклатуры и контроля правильности сборки заказов. Второй по значимости категорией являются потери от повреждения деталей при хранении и перемещении (23,85%), что особенно критично для машиностроения ввиду высокой стоимости заготовок и готовых изделий. Значительную долю также составляют потери времени на поиск и перемещения (18,36%) и простои транспорта и погрузочной техники (14,58%), что свидетельствует о неоптимальности существующих логистических маршрутов и недостаточной прозрачности движения материальных потоков. Таким образом, представленная структура позволяет определить приоритетные направления применения технологий компьютерного зрения на предприятии.

Логистические издержки машиностроительного предприятия формируются на всех этапах движения материальных потоков - от входного контроля сырья и комплектующих до отгрузки готовой продукции. Традиционные методы управления затратами, основанные на ручном учете и периодическом контроле, не позволяют оперативно выявлять и устранять потери. Внедрение технологий компьютерного зрения открывает возможности для сплошного автоматизированного мониторинга складских и транспортных операций, обеспечивая прозрачность формирования себестоимости и создавая основу для принятия управленческих решений в реальном времени. Рассмотрим основные направления применения данных технологий на машиностроительных предприятиях.

Контроль приемки и идентификации металлопродукции и комплектующих: одним из наиболее критичных участков с точки зрения возникновения потерь на машиностроительном предприятии являются операции приемки металлопроката, литья и покупных комплектующих. Ошибки на этапах приемки приводят к использованию не тех материалов в производстве, браку готовой продукции и срыву сроков поставки.

Внедрение систем компьютерного зрения позволяет автоматически контролировать: соответствие фактически поступившей номенклатуры данным сопроводительных документов, количество единиц продукции, геометрические параметры и целостность заготовок, а также правильность маркировки и идентификации.

Особого внимания заслуживает разработка ученых МТУСИ - система на базе нейронной сети YOLOv8 для автоматического определения количества и типов труб на складах и производственных площадках [5]. Нейронная сеть была обучена на наборе данных из 5800 изображений, включающем как открытые данные, так и реальные фотографии с производственных предприятий [5]. Ключевой особенностью стала технология аугментации данных - генерация дополнительных изображений с различными эффектами для имитации разных условий съемки [5].

Разработчики уделили особое внимание анализу влияния внешних факторов на точность распознавания. Система протестирована на различных углах наблюдения, при разной степени освещенности и для труб разного типа. Главное преимущество разработки - способность точно распознавать объекты даже на фотографиях невысокого качества, что позволяет кардинально ускорить процессы складского учета, исключив трудоемкий и подверженный ошибкам процесс подсчета [5].

Контроль качества поступающего сырья и материалов: для машиностроительных предприятий критическое значение имеет качество поступающих материалов. Дефекты, не выявленные на этапе входного контроля, приводят к браку на поздних стадиях механической обработки или к отказам готовых изделий в эксплуатации.

Объединенная металлургическая компания внедрила цифровой сервис на основе машинного зрения и нейросетей, автоматически определяющий вид, качество и чистоту поступающего стального лома [6]. Система, включающая промышленные камеры и несколько моделей компьютерного зрения,

анализирует каждый выгружаемый слой сырья в вагонах и автомобилях, выделяя слои лома, оценивая его засоренность и соответствие ГОСТу в реальном времени [6]. При выявлении нарушений автоматически формируются предупреждения, позволяющие приостановить разгрузку [6]. Сервис также обучается распознавать и блокировать запрещенные предметы, включая потенциально взрывоопасные. По результатам анализа создаются отчеты с послойными фотографиями разгрузки каждого транспортного средства, что служит объективной базой для урегулирования спорных вопросов с поставщиками [6]. Внедрение позволило исключить контролеров ОТК из зоны действия грузоподъемных механизмов, ускорить приемку и повысить качество входного сырья за счет передачи рутинных операций автоматизированным системам [6].

Контроль загрузки транспорта и оптимизация внутривозовских перемещений: на предприятиях с внутривозовской логистикой особо актуальна задача контроля загрузки транспорта. Традиционные методы определения объема перемещаемых материалов не дают возможности в реальном времени контролировать и корректировать загрузку, в результате техника работает не на полную мощность.

Примером эффективного решения данной задачи служит опыт компании «Алроса», внедрившей систему контроля загрузки самосвалов на основе технологий машинного зрения. Система с использованием лидара для построения 3D-модели кузова самосвала позволяет точно рассчитывать объем загруженной горной массы и степень заполнения каждой машины [2]. Загрузка самосвалов до внедрения была на 10% ниже оптимального уровня [2]. Проведенные испытания на одном из рудоспусков позволили повысить производительность шахтных самосвалов на 10%, что составило практически 12 тыс. тонн дополнительно перевезенной руды [2].

Для машиностроительных предприятий аналогичные решения могут применяться для контроля загрузки внутривозовского транспорта - электрокар,

автоматических тележек, мостовых кранов, что позволит повысить эффективность использования транспортного парка.

Мониторинг производительности труда и простоев: на предприятиях с традиционно высокой долей ручных операций на складах и в транспортных цехах актуальна задача контроля производительности труда. По данным аналитиков TRASSIR, средний склад с численностью до 50 человек теряет до 8 млн рублей в год только из-за нарушений трудовой дисциплины [4]. Сотрудники могут тратить до 20% рабочего времени на различные операции, не связанные с выполнением служебных обязанностей [4].

Компьютерное зрение позволяет автоматизировать учет рабочего времени и контроль соблюдения технологических процессов. Система фиксирует:

- фактическое время нахождения сотрудника на рабочем месте;
- продолжительность выполнения отдельных операций;
- отклонения от заданных маршрутов перемещения;
- несанкционированные остановки конвейеров и погрузочной техники.

Важно отметить, что данные системы выполняют не столько надзорную, сколько аналитическую функцию, предоставляя данные для оптимизации процессов и мотивации персонала.

На основе доступных данных о внедрении систем компьютерного зрения на промышленных предприятиях проведем сравнительный анализ ключевых показателей до и после внедрения.

Таблица 2 - Сравнительный анализ ключевых показателей до и после внедрения систем компьютерного зрения

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение, %
Коэффициент загрузки транспорта, %	90	100	10
Ошибки идентификации деталей, %	5	0,3	-94
Время сбора заказа, мин.	40	7,5	-81
Время инвентаризации, дней	10	1	-90
Простои из-за нехватки деталей	регулярно	отсутствуют	-100

Источник: составлено автором по материалам [2, 3].

Представленные в таблице 2 данные демонстрируют положительное влияние внедрения систем компьютерного зрения на ключевые показатели логистической деятельности. Коэффициент загрузки транспорта увеличился на 10% и достиг оптимального уровня в 100%, что свидетельствует о более эффективном использовании парка техники. Ошибки идентификации деталей сократились до 0,3%, что практически исключает риски неверной комплектации и брака на последующих стадиях производства. Время сбора заказа уменьшилось в 5,3 раза, а продолжительность инвентаризации - в 10 раз, что обеспечивает значительный прирост производительности складских операций.

Таким образом, внедрение технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта в логистические процессы машиностроительных предприятий открывает новые возможности для снижения издержек, повышения точности и ускорения операций. Данный подход обеспечивает прозрачность, автоматизацию и оперативность контроля, что в целом способствует более эффективной организации материальных потоков и укреплению конкурентных позиций. Таким образом, интеграция интеллектуальных систем становится важным стратегическим шагом к модернизации и оптимизации логистической деятельности в машиностроении.

Библиографический список:

1. ITU-T F.747.12-2022 Требования к системе машинного зрения на основе искусственного интеллекта на интеллектуальных логистических складах [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=15193&lang=ru> (Дата обращения 11.03.2026).
2. «Алроса» внедряет машинное зрение [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-09-02_alrosa_vnedryaet_mashinnoe (Дата обращения 12.03.2026).
3. ИИ и «умные склады» автопроизводителей. Как искусственный интеллект автоматизирует хранение, перемещение и учёт комплектующих

[Электронный ресурс]. URL: <https://profi-soft.kz/articles/ii-i-umnye-sklady-avtoproizvoditeley-kak-iskusstvennyy-intellekt-avtomatiziruet-khranenie-peremeshch/> (Дата обращения 12.03.2026).

4. Видеоаналитика против складских потерь [Электронный ресурс]. URL: https://logirus.ru/articles/solution/videoanalitika_protiv_skladskikh_potery_kak_ne_upustit_millions.html?sphrase_id=2095293 (Дата обращения 13.03.2026).

5. Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comnews.ru/content/241891/2025-10-21/2025-w43/1011/mtusi-sozdal-neyroset-dlya-avtomatizacii-skladskogo-ucheta> (Дата обращения 11.03.2026).

6. ОМК внедрила сервис на базе ИИ для контроля качества металлолома [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80ady2a0c.xn--p1ai/print:page,1,50835-omk.html> (Дата обращения 11.03.2026)

7. Сологубова, Г. С. Составляющие цифровой трансформации: монография / Г. С. Сологубова. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 147 с. — (Актуальные монографии). - ISBN 978-5-534-11335-8. - Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/586953> (дата обращения: 13.03.2026).

8. Чекмарев, А. В. Управление качеством цифровых продуктов и проектами цифровой трансформации: учебник для вузов / А. В. Чекмарев, В. Н. Азаров, Ю. В. Куприянов; под редакцией А. В. Чекмарева. — 2-е изд., стер. — Москва: Юрайт, 2025. — 320 с.