

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПРОИСХОДЯЩИХ СОБЫТИЙ НА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЯХ

А. Д. ЛЕБЕДЬ, В. И. МАТВЕЕВ, канд. техн. наук, доц. М. В. ТЕРЕНТЬЕВА

*Ухтинский государственный технический университет,
Ухта, Россия*

Аннотация. В работе рассматривается многоуровневый процесс обработки видеоданных для автоматического анализа событий в системах видеонаблюдения на нефтеперекачивающих станциях. Исследование охватывает ключевые этапы компьютерного зрения: детектирование и классификацию объектов с использованием сверточных нейронных сетей, трекинг перемещений в пространственно-временном континууме и распознавание действий на основе рекуррентных и трехмерных сверточных сетей. Проанализированы практические применения технологии в физической, промышленной и технологической безопасности. Определены перспективы развития систем, включая предиктивную аналитику и создание цифровых двойников объектов.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное обучение, безопасность, нефтеперекачивающая станция.

Обеспечение безопасности на стратегических объектах, к которым относятся нефтеперекачивающие станции, является критически важной задачей. Традиционные системы видеонаблюдения, основанные на пассивной записи и визуальном контроле оператором, не способны обеспечить требуемый уровень безопасности из-за человеческого фактора, больших площадей и большого количества камер. Современный подход предполагает трансформацию видеопотока в структурированную машиночитаемую информацию для его автоматического анализа в реальном времени. Данная статья детально рассматривает полный технологический цикл обработки сигнала с камер видеонаблюдения, применяемый для создания таких интеллектуальных систем.

1. Методологическая основа систем анализа видеоданных

1.1. Детектирование и классификация объектов как основа видеоаналитики. Первичной и фундаментальной задачей компьютерного зрения является детектирование и классификация объектов. На данном этапе система должна выделить в видеопотоке значимые области (регионы), содержащие объекты, и идентифицировать их принадлежность к заранее определенным классам: «человек», «транспортное средство», «технологическое оборудование» и др.

В современных системах эта задача эффективно решается с использованием алгоритмов глубокого обучения, в частности, сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN). Такие архитектуры, как YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector) и Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network), демонстрируют высокую точность и скорость работы, что необходимо для обработки видео в реальном времени. Обучение этих моделей проводится на обширных размеченных датасетах (например, COCO, PASCAL VOC), что позволяет им robustly распознавать объекты в различных условиях освещенности, при частичных окклюзиях и в сложных ракурсах. Для специфики нефтегазовых объектов требуется дополнительное обучение (дообучение) на специализированных данных, включающих изображения технологического оборудования, спецтехники и персонала в касках и спецодежде.

1.2. Пространственно-временной анализ: трекинг объектов. После того как объекты обнаружены и классифицированы в одиночном кадре, система переходит к их отслеживанию в последовательности кадров – трекингу. Этап трекинга решает задачу присвоения каждому обнаруженному объекту уникального идентификатора (ID) и построения его траектории в пространственно-временном континууме.

Алгоритмы трекинга, такие как SORT (Simple Online and Realtime Tracking) и его более совершенная версия DeepSORT, которые интегрируют информацию о внешнем виде объекта от CNN, позволяют сохранять идентификатор даже при временных пропаданиях объекта из поля зрения, его пересечениях с другими объектами и изменениях ракурса. На стратегических объектах это позволяет, например, отследить маршрут перемещения сотрудника по территории, контролировать траекторию движения автотранспорта или фиксировать несанкционированное проникновение в охраняемую зону с построением точного пути нарушителя.

1.3. Распознавание действий и событий: семантический уровень анализа. Высокоуровневый анализ, заключающийся в распознавании действий и событий, представляет собой наиболее сложную и смыслообразующую стадию обработки. На этом этапе система интерпретирует не отдельные объекты, а их взаимодействие и динамику изменения состояния во времени.

Для решения этой задачи требуются модели, способные работать с временными последовательностями. Находят применение архитектуры рекуррентных нейронных сетей (RNN), в частности, сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM), которые эффективны для моделирования долгосрочных зависимостей в данных. Также активно развиваются трехмерные сверточные сети (3D-CNN), которые применяют свертку не только по пространственным, но и по временной оси, извлекая таким образом пространственно-временные features из коротких видеофрагментов. На практике это позволяет автоматически детектировать такие события, как падение человека, оставление бесхозного предмета, несанкционированное проникновение за ограждение, возникновение дыма или открытого пламени, разлив жидкостей.

2. Практическое применение систем машинного зрения на нефтеперекачивающих станциях

2.1. Актуальность и ключевые вызовы. Нефтеперекачивающие станции (НПС) как критически важные объекты магистрального трубопроводного транспорта характеризуются наличием зон повышенной опасности, рассредоточенностью инфраструктуры на значительной территории и высокими потенциальными рисками технологических инцидентов и противоправных действий. Традиционные системы видеонаблюдения, основанные на пассивной записи и визуальном контроле оператором, не способны обеспечить требуемый уровень безопасности и оперативности реагирования вследствие:

- Человеческого фактора: усталость оператора, снижение внимания, субъективность оценки.
- Высокой нагрузки: один оператор вынужден одновременно контролировать множество видеоканалов.
- Реактивного характера: инцидент обнаруживается постфактум, когда для предотвращения последствий уже требуются значительные ресурсы.

Внедрение систем машинного зрения позволяет перейти от реактивного к проактивному и предиктивному контролю, автоматизируя обнаружение угроз и аномалий в реальном времени.

2.2. Классификация решаемых задач. Применение технологий машинного зрения на НПС можно структурировать по трем основным классам задач.

2.2.1. Обеспечение физической безопасности и охраны периметра. Данное направление нацелено на предотвращение несанкционированного проникновения на территорию объекта.

- Детекция вторжения: Алгоритмы, основанные на семантической сегментации и детекции объектов (YOLO, SSD), в режиме реального времени идентифицируют людей и транспортные

средства в контролируемых зонах, включая труднодоступные участки периметра. Современные системы способны классифицировать способ проникновения (перелаз через ограждение, подкоп) и эффективно фильтровать ложные срабатывания, вызванные животными, птицами или погодными явлениями (качающиеся ветки, снег).

– Контроль и аналитика доступа: Интеграция модуля распознавания автомобильных номеров (ANPR) с системой контроля и управления доступом (СКУД) позволяет автоматизировать пропускной режим, вести журнал посещений и выявлять транспортные средства, находящиеся в розыске.

– Мониторинг действий персонала и подрядных организаций: Система фиксирует соблюдение регламентов, например, контроль маршрутов движения обходчиков или фактов несанкционированного нахождения в зонах с особыми условиями доступа.

2.2.2. Контроль промышленной безопасности и охраны труда. Это направление ориентировано на минимизацию рисков, связанных с человеческим фактором при выполнении технологических операций.

– Контроль средств индивидуальной защиты: Нейросетевые модели, обученные на обширных датасетах, с высокой точностью детектируют отсутствие каски, защитных очков, огнестойкой одежды или специальной обуви в установленных зонах.

– Детекция опасных действий и ситуаций: Алгоритмы распознавания действий позволяют автоматически выявлять:

- 1) Курение в запрещенных местах.
- 2) Падение человека (возможность несчастного случая или потери сознания).
- 3) Совершение нестандартных технологических операций.
- 4) Наличие посторонних лиц в зонах проведения ремонтных работ под нарядом-допуском.

– Контроль целостности и положения оборудования: Визуальный мониторинг состояния запорной арматуры, положения задвижек, наличия заглушек.

2.2.3. Технологический и экологический мониторинг. Машинное зрение применяется для автоматического контроля состояния технологического оборудования и окружающей среды.

– Раннее обнаружение утечек и возгораний: Использование тепловизионных камер в сочетании с алгоритмами анализа видео позволяет выявлять аномалии, невидимые для стандартных камер:

- 1) Утечки углеводородов проявляются как локальные зоны с аномальной температурой на тепловизоре.
- 2) Детекция дыма и открытого пламени на ранней стадии до перехода в неконтролируемую фазу.

– Мониторинг состояния инфраструктуры: Анализ видеопотока для выявления таких отклонений, как:

- 1) Образование наледи на оборудовании и конструкциях.
- 2) Появление просадок грунта, оползней на прилегающей территории.
- 3) Разрушение теплоизоляции трубопроводов и резервуаров.

– Экологический контроль: Детекция разливов нефтепродуктов на поверхности грунта или акватории по характерному изменению текстуры и цвета поверхности.

2.3. Типовая архитектура системы на объекте НПС. Внедрение системы машинного зрения требует построения многоуровневой архитектуры, обеспечивающей надежность, минимальную задержку и масштабируемость.

Уровень 1: Периферийные устройства (Edge Level)

– Состав: Взрывозащищенные (Ex) и всепогодные (IP66/67) видеокамеры с поддержкой HD/4K, тепловизионные модули, камеры с аппаратными ускорителями для выполнения алгоритмов детекции on-board.

– Функция: Первичный сбор и предобработка видеоданных. Выполнение простых, но критичных по времени алгоритмов (детекция вторжения, распознавание дыма/огня) непосредственно на устройстве для минимизации задержки (Edge AI).

Уровень 2: Локальный серверный комплекс (Local Server Level)

– Состав: Вычислительные серверы, размещенные на территории НПС, системы хранения данных (СХД).

– Функция:

- 1) Агрегация видеопотоков со всех камер.
- 2) Запуск ресурсоемких алгоритмов анализа (распознавание сложных действий, анализ сцен).
- 3) Генерация тревожных событий и их визуализация на мониторах оператора.
- 4) Интеграция со смежными системами: АСУ ТП, СКУД, ОПС, системой оповещения.

Уровень 3: Централизованная платформа (Central Platform Level)

– Состав: Центральные серверы в центре управления, облачная или гибридная инфраструктура.

– Функция:

- 1) Мониторинг группы НПС в едином интерфейсе.
- 2) Сбор агрегированной аналитики и формирование отчетности.
- 3) Обучение и дообучение нейросетевых моделей на данных с множества объектов.
- 4) Удаленное управление конфигурацией и правилами детекции.

2.4. Ожидаемая эффективность и перспективы. Внедрение систем машинного зрения на НПС позволяет достичь следующих результатов:

– Повышение уровня безопасности: Снижение количества инцидентов на 40–60% за счет их раннего обнаружения и предотвращения.

– Экономическая эффективность: Сокращение затрат на физическую охрану до 30%, минимизация ущерба от простоев и аварий, снижение штрафных санкций контролирующих органов.

– Операционная эффективность: Освобождение персонала от рутинного мониторинга, объективная фиксация событий, повышение исполнительской дисциплины.

К перспективным направлениям развития относятся:

1. Предиктивная аналитика: Прогнозирование инцидентов на основе анализа паттернов поведения персонала и данных с других датчиков АСУ ТП.

2. Интеграция с БПЛА: Использование дронов с компьютерным зрением для автономного облета и обследования труднодоступных зон.

3. Глубокая интеграция с «цифровым двойником»: Наложение данных видеоаналитики на 3D-модель объекта для создания интуитивно понятной ситуационной осведомленности.

Вывод. Таким образом, системы машинного зрения представляют собой не просто эволюцию видеонаблюдения, а качественно новый инструмент обеспечения комплексной безопасности и операционной эффективности насосных станций, формируя основу для создания интеллектуальных и автономных объектов трубопроводного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камеры видеонаблюдения с искусственным интеллектом: обзор основных функций, которые следует знать в 2025 году [Электронный ресурс]. – <https://reads.alibaba.com/ru/ai-security-cameras-a-look-at-the-top-features-to-know/> (03.11.2025).
2. Передовой мир AI камер видеонаблюдения [Электронный ресурс]. – <https://www.ultralitics.com/ru/blog/the-cutting-edge-world-of-ai-security-cameras> (04.11.2025).

3. Искусственный интеллект в видеонаблюдении [Электронный ресурс]. – <https://ip-sol.ru/news/detail/is-kusstvenny-intellekt-v-videonablyudenii/> (04.05.2025).
4. XVision, телевизионная система охраны и наблюдения [Электронный ресурс]. – <https://www.control-group.ru/xvision-tson/?ybaip=1&yclid=10783303235557654527> (05.11.2025).