

УДК 1082

## ОДНОЭТАПНЫЕ И ДВУХЭТАПНЫЕ МОДЕЛИ ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НОШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КАСОК В СИСТЕМАХ ВИДЕОМОНИТОРИНГА ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСАХ

**Григорьев Станислав Валентинович,**

кандидат химических наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский  
технический университет, г. Иркутск

**Евстратов Вадим Сергеевич,**

магистрант, Институт информационных технологий и анализа данных, Иркутский  
национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

### Аннотация

В этой статье рассматривается задача автоматического контроля ношения защитных касок с помощью видеомониторинга на промышленных площадках и складах. При этом актуальность работы обусловлена необходимостью повышения промышленной безопасности, а также снижения человеческого фактора при мониторинге соблюдения правил ношения средств индивидуальной защиты. В работе рассмотрены два основных подхода к решению задачи детекции объектов: одноэтапные и двухэтапные нейросетевые модели. Был проведен сравнительный анализ их характеристик с учетом точности детекции, скорости работы и потребляемых вычислительных ресурсов.

Было показано, что одноэтапные нейросетевые модели (YOLO, SSD, RetinaNet и т. п.) обеспечивают высокую скорость работы, что делает их предпочтительными для мониторинга в реальном времени и с большим количеством камер, тогда как двухэтапные нейросетевые модели (Faster R-CNN и т. п.) демонстрируют более высокую точность, особенно в сложных сценах с перекрытиями и малых размерах объектов. На основе результатов актуальных исследований и решений, применяемых в практике, был сделан вывод о целесообразности использования одноэтапных нейросетевых моделей в качестве основного этапа видеоконтроля средств индивидуальной защиты, а также двухэтапных нейросетевых в качестве дополнительного этапа, если это позволяют вычислительные ресурсы.

**Ключевые слова:** детекция объектов, защитные каски, видеомониторинг, компьютерное зрение, одноэтапные модели, двухэтапные модели, промышленная безопасность

## ONE-STAGE AND TWO-STAGE OBJECT DETECTION MODELS FOR HARD HAT WEARING MONITORING IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS UNDER LIMITED COMPUTATIONAL RESOURCES

**Grigorev Stanislav Valentinovich,**

Candidate of Science (Chemistry), Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk  
e-mail: svg@ex.istu.edu

**Evstratov Vadim Sergeevich,**

Master's Student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk  
e-mail: evstr79@gmail.com

---

ABSTRACT

---

This article addresses the problem of automatic monitoring of safety helmet use in video surveillance systems at industrial facilities and warehouses. The relevance of the study is driven by the need to improve industrial safety and reduce the impact of the human factor in monitoring compliance with personal protective equipment (PPE) requirements. The paper considers two main approaches to object detection: single-stage and two-stage neural network models. A comparative analysis of these approaches is presented with regard to detection accuracy, processing speed, and computational requirements.

The study shows that single-stage models, such as YOLO, SSD, and RetinaNet, provide high processing speed and are therefore well suited for real-time monitoring in systems with a large number of cameras. In contrast, two-stage models, such as Faster R-CNN, generally achieve higher detection accuracy, especially in complex scenes involving occlusions and small objects. Based on the analysis of recent studies and practical solutions, it is concluded that single-stage models are the most suitable choice as the primary detection stage in PPE video monitoring systems, while two-stage models can be used as an additional verification stage when sufficient computational resources are available.

---

**Keywords:** object detection, hard hat detection, video surveillance, computer vision, one-stage models, two-stage models, industrial safety

---

Введение

В сфере контроля соблюдения ношения средств индивидуальной защиты одной из задач остаётся контроль на складе и промышленном предприятии. Одним из наиболее частых нарушений является отсутствие защитной каски у работников в зонах с высоким уровнем риска. Вариант контроля, применяемый обычно, предполагает ручной контроль. Он требует постоянного внимания со стороны работников и не всегда позволяет вовремя обнаруживать нарушения, особенно если речь идет о крупном объекте с множеством камер видеонаблюдения.

В связи с этим все более актуальными являются автоматизированные системы для определения нарушений, которые могут выявлять наличие или отсутствие средств индивидуальной защиты на изображениях и видеопотоках. Эти системы могут помочь свести к минимуму влияние человеческого фактора в виде внимательности и усталости, а также ускорить скорость детекции опасных ситуаций. В частности, это имеет важное значение для организаций, для которых необходимо обрабатывать информацию с множества камер [1, 2].

Одной из ключевых задач при разработке подобных систем является задача выбора модели детекции объектов. В современных исследованиях на эту задачу широко распространены два основных подхода: одноэтапные модели и двухэтапные модели. Одноэтапные модели отличаются высокой скоростью работы, что делает их

привлекательными для систем, работающих в реальном времени. Двухэтапные модели, наоборот, отличаются повышенной точностью, но требуют значительных вычислительных затрат. Следовательно, возникает необходимость выбора между скоростью обработки и качеством.

Существенным фактором, влияющим на качество детекции, является используемый набор данных для обучения моделей. В задачах контроля средств индивидуальной защиты часто наблюдается ограниченность доступных датасетов, а также дисбаланс классов (например, преобладание изображений с правильно экипированными работниками). Это может негативно сказываться на способности модели обнаруживать редкие, но критически важные случаи нарушений.

Для проблемы контроля ношения защитных касок этот выбор особенно важен. С одной стороны, система должна достаточно точно выявлять нарушения, но с другой стороны, на складах и промышленных объектах вычислительные ресурсы часто ограничены, а количество видеочастиц может быть большим. Поэтому в практических условиях нередко допускается некоторое снижение точности, если это позволит существенно повысить скорость работы системы и сократить расходы на инфраструктуру.

В рамках данной работы задача контроля ношения защитных касок формализуется следующим образом. На вход системы поступает изображение или видеопоток с камер видеонаблюдения. Выходом системы является набор ограничивающих прямоугольников (bounding boxes), соответствующих обнаруженным объектам, а также их классы (например, person, helmet, no helmet).

Качество работы моделей оценивается с использованием метрик mAP, precision и recall, а также показателей скорости обработки, таких как количество кадров в секунду (FPS) и время инференса.

Помимо показателя FPS, важной характеристикой является задержка обработки одного кадра (latency), измеряемая в миллисекундах. Для систем промышленной безопасности данный параметр имеет критическое значение, поскольку высокая задержка может привести к несвоевременному обнаружению нарушений. Поэтому при выборе модели необходимо учитывать не только общую пропускную способность, но и время отклика системы.

#### Обзор предметной области

Проблема контроля ношения защитных касок — это задача компьютерного зрения и связана с автоматическим анализом изображений и видео. Суть задачи заключается в том, чтобы программа определила, находится ли человек в кадре и надет ли у него защитная каска [5].

Особенностью данной задачи является то, что она решается в реальных рабочих условиях. На качество детекции влияет сложный фон, освещение, перекрытие объектов, ракурсы съёмки, а также небольшие размеры каски в кадре.

Для решения задач такого типа используются методы детекции объектов, при этом определяется объект на изображении, а затем его местоположение. Основное внимание в современных исследованиях уделяется двум типам моделей: одноэтапные и двухэтапные. Общими характеристиками одноэтапных моделей является быстрдействие, что делает их привлекательными для систем, работающих в режиме реального времени. Двухэтапные модели часто имеют большие вычислительные затраты [8].

Следовательно, при разработке систем контроля ношения касок необходимо учитывать не только показатели детекции, но и показатели скорости, а также требования к ресурсам и возможность работы с большим количеством камер. В этом и заключается значение сравнения одноэтапных и двухэтапных моделей.

#### Одноэтапные модели детекции

Одноэтапные модели для детекции объектов включают в себя как процесс поиска объекта, так и его классификацию. Эти модели не подразумевают разделения задачи на различные этапы. Поэтому они получили широкое применение в задачах, в которых скорость работы имеет первостепенное значение. Однако по точности они могут уступать двухэтапным моделям в сложных сценах.

Наиболее существенное преимущество этих моделей — их применение для решения задач детекции в реальном времени. В таких задачах для видеонаблюдения на складах и в промышленных зонах имеет первостепенное значение скорость работы. Поэтому эти модели получили широкое применение. Существует мнение, что в таких задачах скорость работы имеет не меньшее значение, чем точность детекции.

К числу самых известных одноэтапных моделей относятся модели таких семейств, как YOLO, SSD, и RetinaNet [8]. Наибольшее распространение в задаче контроля средств индивидуальной защиты получили модели семейства YOLO, поскольку они достаточно точны и быстродействующие, а кроме того, достаточно просты в настройке. Следовательно, благодаря этим свойствам, модели данных семейств можно рассматривать как потенциальное решение для автоматизированного контроля ношения касок.

Однако и у одноэтапных моделей имеются недостатки. Хотя и достаточно быстродействующие, одноэтапные модели могут оказаться не такими точными, как двухэтапные, особенно в условиях, когда размеры объектов достаточно малы либо когда объекты перекрыты, либо находятся в условиях плохого освещения. А для задачи контроля касок это важно, поскольку каска может занимать достаточно малую часть изображения и может быть плохо различима на фоне окружающей среды.

Таким образом, одноэтапные модели детекции представляют собой весьма эффективный механизм для реализации быстрых и масштабируемых систем видеомониторинга. Применение таких моделей может быть обосновано в тех случаях, когда возникает необходимость обработки большого количества видеопотоков при ограниченных вычислительных ресурсах.

#### Двухэтапные модели детекции

Двухэтапные модели детекции объектов используют более сложный алгоритм. Сначала происходит определение всех зон, в которых может находиться объект, а затем происходит детализация границ и определение класса объекта. Этот алгоритм позволяет повысить точность детекции, особенно при малых размерах объекта и сложных условиях обзора.

Основным преимуществом двухэтапных моделей является то, что они дают более высокую точность, чем одноэтапные модели. Этот фактор важен в случаях, когда необходимо минимизировать количество пропущенных нарушений. Этот фактор важен для моделей обнаружения нарушений в системе контроля ношения защитных касок, поскольку любая ошибка может привести к опасной ситуации, когда рабочий может получить смертельные травмы.

К наиболее известным двухэтапным моделям относятся R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, Mask R-CNN, и так далее. На практике чаще всего используется Faster R-CNN, поскольку данная модель обеспечивает хорошее соотношение качества детекции и затрат на вычислительные мощности. Эти модели способны уверенно работать в сложных сценариях, в том числе при малом размере целевого объекта и сложном фоне.

К недостаткам двухэтапных моделей можно отнести тот факт, что за высоким качеством детекции приходится платить высокими вычислительными затратами, что требует более мощного оборудования по сравнению с одноэтапными моделями. Кроме того, данные модели работают существенно медленнее, по этой причине их применение в

системах видеонаблюдения с большим количеством камер может быть затруднено, особенно если требуется обработка данных в режиме, близком к реальному времени [8].

Следовательно, двухэтапные модели детекции можно рассматривать как потенциально полезные в ситуациях, при которых приоритетом является точность детекции, а ограничения на скорость и вычислительные ресурсы не являются критическими. Для проблемы контроля ношения защитных касок подобные модели могут оказаться полезными на объектах, на которых важна высокая вероятность обнаружения нарушений и имеется достаточно вычислительных ресурсов.

#### Сравнительный анализ моделей

Во время сравнения одноэтапных и двухэтапных моделей детекции для задач контроля ношения защитных касок необходимо учитывать условия эксперимента. Параметры mAP, precision, recall, FPS, время инференса можно сравнивать напрямую только в пределах одной работы, так как на результат влияют используемый датасет, размер входного изображения, условия обучения, используемое оборудование [8].

Таблица 1 – Сравнение одноэтапных и двухэтапных моделей детекции по основным характеристикам

Критерий	Одноэтапные модели	Двухэтапные модели
Принцип работы	Детекция и классификация выполняются за один проход	Сначала формируются области-кандидаты, затем выполняется уточнение
Скорость обработки	Выше	Ниже
Точность	Высокая, но может снижаться в сложных сценах	Обычно выше в сложных условиях
Работа с малыми объектами	Может быть менее устойчивой	Чаще показывает лучшие результаты
Требования к ресурсам	Ниже	Выше
Применимость в многокамерных системах	Высокая	Ограниченная

Из таблицы 1 следует, что одноэтапные модели более удобны для систем детекции в реальном времени и при наличии множества камер, тогда как двухэтапные модели чаще рассматриваются как более точные, но более ресурсоёмкие.

Таблица 2 – Показатели одноэтапных и двухэтапных моделей по данным опубликованных исследований

Источник	Модель	Тип модели	Основные метрики	Скорость
Алешкин и др., 2025 [3]	YOLOv11m	одноэтапная	mAP@0.5 = 0.776; mAP@0.5:0.95 = 0.623	45.8 FPS
Алешкин и др., 2025 [3]	Faster R-CNN	двухэтапная	mAP@0.5 = 0.802; mAP@0.5:0.95 = 0.692	18.3 FPS
Курочка, Карпенко, 2025 [4]	YOLOv8	одноэтапная	mAP@50: каска = 0.995;	—

			ремешок = 0.956	
Курочка, Карпенко, 2025 [4]	Faster R-CNN	двухэтапная	mAP@50: каска = 0.9881; ремешок = 0.7774	—
Hu, Ren, 2023 [6]	YOLOv8n	одноэтапная	mAP@50 = 93.3; AP@50-95 = 52.3	9.7 ms
Hu, Ren, 2023 [6]	YOLO-LHD	одноэтапная	mAP@50 = 94.3; AP@50-95 = 54.0	10.4 ms
Hu, Ren, 2023 [6]	Faster R-CNN	двухэтапная	AP@50-95 = 47.8	21.9 ms
Wang et al., 2024 [7]	YOLOv8- ADSC	одноэтапная	mAP@0.5 = 94.2%; mAP@0.5:0.95 = 62.4%	51 FPS

Примечание — показатели приведены в формате оригинальных публикаций; их прямое сопоставление между разными исследованиями ограничено различиями датасетов, условий обучения и используемого оборудования.

На основании таблицы 2 можно сделать вывод, что двухэтапные модели нередко обеспечивают более высокую точность в пределах конкретных экспериментов, однако одноэтапные модели сохраняют существенное преимущество по скорости обработки, это особенно важно для задач видеомониторинга в реальном времени.

Таблица 3 - Выбор типа модели для контроля ношения защитных касок в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Предпочтительный подход	Обоснование
Большое количество камер	Одноэтапные модели	Обеспечивают более высокую скорость обработки видеопотоков
Ограниченные вычислительные ресурсы	Одноэтапные модели	Требуют меньших вычислительных затрат
Работа в режиме реального времени	Одноэтапные модели	Позволяют поддерживать высокий FPS
Сложные сцены, перекрытия, малые объекты	Двухэтапные модели	Обычно обеспечивают более высокую точность детекции
Приоритет минимизации пропусков нарушений	Двухэтапные модели	Лучше подходят для точного анализа сложных кадров
Многоступенчатая система контроля	Комбинированный подход	Одноэтапная модель используется для первичной детекции, двухэтапная — для уточнения спорных случаев

На практике комбинированный подход может быть реализован следующим образом: одноэтапная модель используется для первичной обработки всех видеопотоков и быстрого выявления потенциальных нарушений. При этом для объектов с низкой уверенностью классификации (confidence score) или в сложных сценах (перекрытия, малые размеры объектов) результаты передаются на дополнительную проверку двухэтапной моделью.

Такой подход позволяет сократить вычислительные затраты за счёт применения более ресурсоёмких моделей только к ограниченному числу кадров.

Таким образом, двухэтапные модели в среднем демонстрируют повышенную точность, но одноэтапные модели имеют большее соответствие требованиям реальных систем контроля ношения защитных касок, в которых важна скорость обработки, а также возможность работы большого количества видеопотоков в условиях ограниченности вычислительных ресурсов. Следовательно, в реальных условиях, в частности, в складских и промышленных предприятиях, на практике часто оказываются наиболее подходящими одноэтапные модели семейства YOLO и их модификации.

#### Архитектура системы видеоконтроля

Типовая система автоматического контроля ношения защитных касок включает несколько основных компонентов. На первом этапе осуществляется получение видеопотока с камер наблюдения и его предварительная обработка (нормализация, изменение разрешения). Далее выполняется детекция объектов с использованием одноэтапной модели (например, YOLO), которая обеспечивает быстрое обнаружение людей и касок в кадре.

В случае необходимости повышения точности, на следующем этапе может применяться двухэтапная модель (например, Faster R-CNN) для повторной проверки сложных или неопределённых случаев. После этого формируется логика принятия решения (наличие или отсутствие каски у человека), а также система уведомлений (сигнал оператору, запись события).

Такая архитектура позволяет обеспечить баланс между скоростью работы системы и точностью детекции.

#### Применение моделей для контроля ношения защитных касок

В работе над задачей детекции для обнаружения ношения защитных касок также следует учитывать не только детекцию, но и условия, в которых может работать модель. Например, для объектов промышленного назначения и складов характерно большое количество камер и работа в режиме, приближенном к реальному времени, а также ограниченные вычислительные возможности. В таких случаях важен поиск компромисса между качеством детекции и стоимостью масштабирования.

В задаче контроля касок важна специфика малых объектов: каска может занимать только часть изображения, частично перекрывать другие объекты или иметь сложный ракурс. В таких сценах двухэтапные модели демонстрируют лучшую точность, но с ростом количества камер они нередко оказываются узким местом системы из-за повышенной вычислительной сложности. Поэтому в реальных задачах двухэтапные модели рассматриваются скорее, как расширенная точность для отдельных потоков или как дополнительный вариант если того позволяют ресурсы.

В качестве основного рабочего решения для таких систем обычно рассматриваются одноэтапные модели, в частности YOLO. Объяснение этому можно найти в том, что они обеспечивают хорошую скорость работы при довольно-таки хорошей точности и подходят для масштабирования на десятки и сотни видеопотоков. В проанализированных прикладных работах именно одноэтапные модели рассматриваются как базовый вариант для систем реального времени.

Вместе с тем, стоит отметить и значение используемых методов оптимизации модели с учетом имеющихся ресурсов. В ряде публикаций по видеоконтролю с использованием

СИЗ показано, что 8-битная квантизация YOLOv11s позволяет снизить требования по вычислительным ресурсам на 72% с потерей точности детекции на 3.7%. Таким образом, это означает, что в промышленных системах может быть позволено некоторое снижение точности, при условии, что это обеспечивает существенную экономию на вычислительных ресурсах и упрощает масштабируемость [3].

При разработке систем детекции необходимо учитывать возможные ошибки моделей. К основным типам ошибок относятся ложноположительные срабатывания (false positive), когда система ошибочно определяет наличие каски, и ложноотрицательные (false negative), когда каска не обнаруживается при её наличии.

Причинами таких ошибок могут быть малый размер объекта в кадре, частичное перекрытие, сложные условия освещения или сходство каски с элементами окружающей среды. Учет этих факторов важен при выборе и настройке моделей.

Таким образом, для большинства практических задач контроля ношения защитных касок наиболее целесообразным для использования как основного инструмента для детекции окажутся одноэтапные модели. Двухэтапные модели можно применять тогда, когда имеет первостепенное значение максимальная точность. Однако их можно применять и тогда, когда имеются достаточные вычислительные ресурсы или в составе комбинированных решений.

#### Заключение

В данной работе рассмотрены одноэтапные и двухэтапные модели для задачи обнаружения объектов. По результатам проведённого аналитического исследования установлено, что одноэтапные модели представляются наиболее целесообразными для систем контроля в режиме реального времени при большом количестве камер, что позволит добиться высокой скорости обработки и минимизировать требования к вычислительным ресурсам. Двухэтапные модели, в свою очередь, характеризуются высокой точностью обнаружения, но при этом ограничены своей вычислительной сложностью.

В практических задачах, связанных с объектами хранения или промышленного назначения, в большинстве практических случаев предпочтительны одноэтапные модели, в первую очередь YOLO, что позволит добиться наиболее выгодного баланса при достижении высокой точности обнаружения. Двухэтапные модели следует использовать в тех случаях, когда приоритетно достижение высокой точности детекции.

Таким образом, выбор между одноэтапными и двухэтапными моделями детекции должен определяться условиями эксплуатации системы. При необходимости обработки большого количества видеопотоков в режиме реального времени и при ограниченных вычислительных ресурсах предпочтение следует отдавать одноэтапным моделям. В то же время, в задачах, где критична максимальная точность обнаружения, целесообразно использование двухэтапных моделей или комбинированных подходов.

Дополнительное повышение эффективности систем может быть достигнуто за счёт применения методов оптимизации, таких как квантизация, а также за счёт построения многоступенчатых архитектур обработки данных.

#### Список литературы:

1. Vyaltsev, A. V. The Use of Computer Vision to Reduce Industrial Accidents / A. V. Vyaltsev // International Research Journal. – 2023. – № 5 (131).
2. Чумаков, К. В. Применение видеоаналитики для мониторинга и повышения безопасности технологических процессов / К. В. Чумаков, П. А. Стрижак, С. С. Кропотова // Безопасность труда в промышленности. – 2025. – № 1. – С. 83–89.

3. Алешкин, А. А. Система видеоконтроля средств индивидуальной защиты на промышленном предприятии / А. А. Алешкин, М. С. Цыганова, Д. К. Зитцер // Математическое и информационное моделирование: материалы Всероссийской конференции молодых ученых, г. Тюмень, 22–30 апреля 2025 г. Вып. 23. – Тюмень : ТюмГУ-Press, 2025. – С. 258–265.
4. Курочка, К. С. Исследование нейросетевых моделей YOLOv8 и F-RCNN для задачи распознавания образов (спецодежды на людях) / К. С. Курочка, Д. Е. Карпенко // Информационные технологии. Физика и математика: материалы 89-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3–18 февраля 2025 г. – Минск: БГТУ, 2025. – С. 50–53.
5. Шахов, Д. В. Detection of construction helmets on workers to ensure safety in real conditions / Д. В. Шахов. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/387825633\\_Detection\\_of\\_construction\\_helmets\\_on\\_workers\\_to\\_ensure\\_safety\\_in\\_real\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/387825633_Detection_of_construction_helmets_on_workers_to_ensure_safety_in_real_conditions) (дата обращения: 18.03.2026). – Текст: электронный.
6. Hu, L. YOLO-LHD: an enhanced lightweight approach for helmet wearing detection in industrial environments / L. Hu, J. Ren // *Frontiers in Built Environment*. – 2023. – Vol. 9. – Art. 1288445.
7. Wang, J. A Safety Helmet Detection Model Based on YOLOv8-ADSC in Complex Working Environments / J. Wang, B. Sang, B. Zhang, W. Liu // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13, No. 23. – Art. 4589.
8. Зорин, В. А. Аналитический обзор нейросетевых алгоритмов обнаружения возгораний при чрезвычайных ситуациях / В. А. Зорин, Р. В. Мещеряков // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика»*. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 23–34.

#### References:

1. Vyaltsev, A. V. The Use of Computer Vision to Reduce Industrial Accidents / A. V. Vyaltsev // *International Research Journal*. – 2023. – No. 5 (131).
2. Chumakov, K. V. Primenenie videoanalitiki dlya monitoringa i povysheniya bezopasnosti tekhnologicheskikh protsessov [Application of video analytics for monitoring and improving the safety of technological processes] / K. V. Chumakov, P. A. Strizhak, S. S. Kropotova // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. – 2025. – No. 1. – P. 83–89.
3. Aleshkin, A. A. Sistema videokontrolya sredstv individual'noy zashchity na promyshlennom predpriyatii [A video monitoring system for personal protective equipment at an industrial enterprise] / A. A. Aleshkin, M. S. Tsyganova, D. K. Zittser // *Matematicheskoe i informatsionnoe modelirovanie: materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, Tyumen, April 22–30, 2025. Iss. 23.* – Tyumen: TyumGU-Press, 2025. – P. 258–265.
4. Kurochka, K. S. Issledovanie neyrosetevykh modeley YOLOv8 i F-RCNN dlya zadachi raspoznavaniya obrazov (spetsodezhdy na lyudyakh) [A study of YOLOv8 and F-RCNN neural network models for the image recognition task (workwear on people)] / K. S. Kurochka, D. E. Karpenko // *Informatsionnye tekhnologii. Fizika i matematika: materialy*

89-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem), Minsk, February 3-18, 2025. – Minsk: BGTU, 2025. – P. 50-53.

5. Shakhov, D. V. Detection of construction helmets on workers to ensure safety in real conditions / D. V. Shakhov. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/387825633\\_Detection\\_of\\_construction\\_helmets\\_on\\_workers\\_to\\_ensure\\_safety\\_in\\_real\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/387825633_Detection_of_construction_helmets_on_workers_to_ensure_safety_in_real_conditions) (accessed: 18.03.2026). – Text: electronic.
6. Hu, L. YOLO-LHD: an enhanced lightweight approach for helmet wearing detection in industrial environments / L. Hu, J. Ren // *Frontiers in Built Environment*. – 2023. – Vol. 9. – Art. 1288445.
7. Wang, J. A Safety Helmet Detection Model Based on YOLOv8-ADSC in Complex Working Environments / J. Wang, B. Sang, B. Zhang, W. Liu // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13, No. 23. – Art. 4589.
8. Zorin, V. A. Analiticheskiy obzor neyrosetevykh algoritmov obnaruzheniya vozgoraniy pri chrezvychaynykh situatsiyakh [Analytical review of neural network fire detection algorithms in emergency situations] / V. A. Zorin, R. V. Meshcheryakov // *Vestnik YuUrGU. Seriya "Matematika. Mekhanika. Fizika"*. – 2025. – Vol. 17, No. 2. – P. 23-34.