

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 1/12 09.12.2024
--	---	-------------------------

**Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и
промышленной безопасности**

Проектное решение

12 листов

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 2/12 09.12.2024
--	---	-------------------------

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Термины, определения и сокращения	3
2.	Общие положения	4
2.1.	Краткое описание системы	4
2.2.	Назначение документа	4
3.	Требования к системе.....	5
3.1.	Функциональные требования	5
3.2.	Нефункциональные требования	5
3.3.	Виды нарушений.....	6
3.4.	Ограничения.....	6
4.	Техническое решение.....	6
4.1.	Общее описание и принцип работы системы	6
4.2.	Перечень программного обеспечения	7
4.3.	Ограничения системы.....	8
4.4.	Архитектура	8
4.5.	Логика обнаружения нарушений	10
4.6.	Интеграция с InSight.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.7.	Пользовательский интерфейс	10
4.8.	Безопасность.....	12
4.9.	Лицензирование	12

	Проектное решение. Универсальная система видеоналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 3/12 09.12.2024
--	--	-------------------------

1. Термины, определения и сокращения

В настоящем документе используются следующие термины, определения и сокращения, представленные в Таблица 1.

Таблица 1 – Термины, определения и сокращения

Термин	Описание
СИЗ	Средства Индивидуальной Защиты
RTSP	Real-Time Streaming Protocol, протокол для передачи видеопотоков в режиме реального времени.
FPS	Frame Per Second, количество кадров в секунду.
SoftAccuracy	$SoftAccuracy = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{S} + \left(1 - \alpha \cdot \frac{F}{N-S} \right) \right) \cdot 100\%$ <p>где: значение softAccuracy изменяется в диапазоне от 0 до 100% (чем больше, тем лучше), включительно, S - заранее, априорно известное (GT) число видео последовательностей с нарушениями правил ношения СИЗов; N – априорно известное (GT) общее количество видео последовательностей на тестовой выборке, длина каждого порядка t секунд. (требование: N>S); T - количество видео последовательностей с корректным срабатыванием разработанной системы (штатная работа система, в противоположность GT); F – количество видео последовательностей с ложным срабатыванием разработанной системы (штатная работа система, в противоположность GT); $\alpha > 1$ - регуляризационный параметр ошибки 2-го рода.</p>
UML	Unified Modeling Language, язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур.
BPMN	Business Process Model and Notation, система условных обозначений и их описания в XML для моделирования бизнес-процессов.
YOLO	Модель машинного обучения для детекции объектов и сегментации (You Only Look Once).

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 4/12 09.12.2024
--	---	-------------------------

Термин	Описание
Трекинг	Процесс отслеживания перемещения объектов между последовательными кадрами.
Kafka	Распределенная стриминговая платформа для обработки потоковых данных.
KsqlDB	Модуль потоковой обработки данных на основе прописанных SQL подобных запросов, адаптированный для работы с Kafka
MinIO	Высокопроизводительное хранилище файлов.
Postgres	PostgreSQL, реляционная база данных с открытым исходным кодом.
InSight	Корпоративная автоматизированная система управления процессами промышленной безопасности и охраны труда.
REST	Архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети.
API	Application Programming Interface, интерфейс программирования приложений.
ML	Machine Learning (машинное обучение).
JWT токен	JSON Web Token, ключ аутентификации пользователя.

2. Общие положения

2.1. Краткое описание системы

Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности предназначена для выявления неправильного ношения СИЗ работниками предприятия с помощью камер видеонаблюдения в режиме реального времени с целью оперативного реагирования на нарушение техники безопасности.

Цели проекта:

- сократить случаи травматизма работников и несчастных случаев вследствие неприменения средств индивидуальной защиты (СИЗ);
- обеспечить своевременное оповещение ответственных лиц об опасностях и нестандартных ситуациях.

2.2. Назначение документа

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 5/12 09.12.2024
--	--	-------------------------

Документ «Проектное решение» описывает программное обеспечение Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности (далее — Системы).

Проектное решение разработано в соответствии с техническим заданием, ГОСТ 19.105-78, ГОСТ 19.102-80.

3. Требования к системе

3.1. Функциональные требования

Для выполнения целей проекта и соответствия технической документации система должна удовлетворять следующим функциональным требованиям.

- **Видеоаналитика:** система должна считывать данные с предоставляемых видеопотоков, детектировать человека и наличие/отсутствие требуемых СИЗ на кадре и выявлять нарушения правил ношения СИЗ.

- **Формирование и предоставление отчетности:** система должна обеспечивать формирование автоматизированной отчетности, иметь возможность предоставлять отчетную информацию в табличном и графическом виде.

- **Интеграция со сторонними сервисами:** система должна передавать данные о нарушениях в систему InSight.

- **Управление доступом:** система должна иметь функционал по управлению доступом пользователей к системе в рамках модели разграничения доступа.

3.2. Нефункциональные требования

Для выполнения целей проекта и соответствия технической документации система должна удовлетворять следующим нефункциональным требованиям.

- **Разграничение доступа:** доступ к определённым функциям системы осуществляется в рамках ролевой модели разграничения доступа.

- **Масштабируемость:** система должна позволять увеличение количества одновременно анализируемых видеопотоков с сохранением работоспособности в рамках ограничений серверной инфраструктуры.

- **Качество:** детектирование человека на кадре и определение наличия или отсутствия на рабочем уставных элементов СИЗ производится на расстоянии в диапазоне 3 ... 12 метров от камер с точностью не хуже SoftAccuracy ~70%.

- **Хранение:** хранение информации о нарушениях ношения СИЗ должно производиться в течение одного года.

- **Резервное копирование:** резервное копирование и восстановление осуществляется силами и средствами заказчика на поставляемом исполнителем оборудовании.

- **Формат событий нарушения:** должен предоставлять информацию о элемент СИЗ, дате, времени и локации нарушения.

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 6/12 09.12.2024
--	---	-------------------------

- **Безопасность:** использование безопасных протоколов обмена информации при межмодульном взаимодействии и при интеграции с другими системами.

- **Патентная чистота:** компоненты системы не должны предъявлять дополнительных требований к покупке лицензий на программное обеспечение сторонних производителей.

3.3. Виды нарушений

Согласно техническому заданию в рамках проекта реализуется контроль наличия СИЗ, представленных в Таблица 2.

Таблица 2 – Определяемые виды СИЗ

Наименование СИЗ	Расположение камер	Расположение СИЗ
Защитная каска	Фабрика, Рудник	На голове работника
Подбородочный ремень	Фабрика, Рудник	На подбородке работника
Защитные очки	Фабрика, Рудник	На голове работника
Фонарь	Рудник	На голове работника
Костюм от ОПЗ, застегнутый на все пуговицы	Фабрика	На теле работника
Самоспасатель	Рудник	Через плечо работника

3.4. Ограничения

В рамках проекта предполагаются следующие ограничения.

- **Количество камер:** видеоаналитика осуществляется суммарно на 6 пилотных камерах.

- **Условия среды:** контроль с камер производится в закрытом помещении круглосуточно без факторов воздействия окружающей погодной/сезонной среды.

- **Освещённость:** освещённость целевой площадки обеспечивается не менее 50 лк (согласно российским нормам по СНиП 23-05-95).

4. Техническое решение

4.1. Общее описание и принцип работы системы

Система видеоаналитики представляет собой многокомпонентную архитектуру.

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 7/12 09.12.2024
--	---	-------------------------

Видео с камер с помощью RTSP протокола передаются в систему считывания видеопотока, которая использует аппаратные возможности системы для декодирования видеопотока и разбиения его на отдельные кадры. Полученные кадры вместе с метаданными о камере попадают в конвейер данных, представляющий из себя сервер Kafka. Дополнительно данные кадры сохраняются во временное хранилище MinIO для минимизации затрат на передачу их по всему конвейеру Kafka.

По конвейеру данных кадры с камер попадают в ML обработчики, представляющие из себя модули по обнаружению СИЗ, людей и их ключевых точек, трекинг найденных людей.

Дальше с помощью конвейера данные о найденных людях и СИЗ передаются в модуль обнаружения нарушений. В модуле происходит вычисление целевого места ношения СИЗ и сопоставление его с обнаруженными СИЗ. Это необходимо для выявления присутствия/отсутствия СИЗ у человека. На основании данной информации формируется вероятность нарушения заданных правил ношения в рамках одного конкретного кадра для каждого человека.

После обнаружения нарушения по конвейеру данных попадают в модуль агрегации нарушений во времени для сбора статистики нарушений за весь период присутствия человека в кадре. После окончания агрегации, когда человек покидает кадр, собранные статистические данные попадают в модуль выявления нарушений. Данный модуль отвечает за вынесение финального решения о нарушении человеком правил ношения СИЗ на основе превышения суммарной уверенности в нарушении определённого порога.

Взаимодействие пользователей с системой производится с помощью веб-интерфейса, который в свою очередь общается с системой с помощью REST API. В рамках взаимодействия пользователю предоставляется возможность по:

- управлению учётными записями пользователей;
- управлению камерами, используемыми системой;
- просмотр информации о найденных нарушениях.

4.2. Перечень программного обеспечения

Перечень устанавливаемого системного и прикладного ПО на серверах Системы приведен в Таблица 3.

Таблица 3 – Перечень программного обеспечения

Термин	Описание	Технология
ОС сервера	Операционная система для работы серверов	Ubuntu Server 24.04
YOLO	Модель машинного обучения для детекции объектов	YOLOv8
Apache Kafka	Платформа для передачи сообщений и потоков данных	Apache Kafka

	Проектное решение. Универсальная система видеоналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 8/12 09.12.2024
--	--	-------------------------

Термин	Описание	Технология
KsqlDB	Надёжная система агрегации нарушений	KsqlDB
MinIO	Временное хранилище изображений с камер	MinIO
PostgreSQL	Система управления базами данных для хранения данных о нарушениях	PostgreSQL 16
Nvidia CUDA	Библиотека для обработки данных на GPU	CUDA 12.x
Docker	Контейнеризация компонентов системы	Docker 20.x
Python	Язык программирования для серверной части системы	Python 3.11

Система использует контейнеризацию на базе Docker, что упрощает развертывание и масштабирование компонентов. Использование моделей YOLO требует оптимизации под GPU, что достигается при помощи Nvidia CUDA. Apache Kafka позволяет масштабировать обработку потоков, а PostgreSQL обеспечивает долговременное и надежное хранение данных.

4.3. Ограничения системы

Для обеспечения корректного поведения системы на входящий видеопоток накладываются следующие ограничения.

- **Цвет:** должен быть трёх-канальным в RGB пространстве.
- **Качество изображения:** должно позволять различать целевые СИЗ с расстояния как минимум 12 метров от камеры.
- **Близость людей:** целевой поток людей, на которых планируется обнаружение нарушений, должен проходить не дальше 12 метров от камеры для обеспечения возможность различать все рассматриваемые типы СИЗ.
- **FPS:** должно быть не ниже 10 кадров/сек.

Также, ввиду подхода по минимизации ложный срабатываний, нарушения формируются только спустя несколько минут после выхода человека из области камеры.

4.4. Архитектура

Основными модулями системы являются следующие.

Считыватель видеопотока

Производит считывание кадров из RTSP потока, производит пропуск кадров до требуемого FPS, обрезает целевую область камеры. Подготовленное изображение отправляет во временное хранилище и, вместе с информацией о камере, в конвейер данных Kafka.

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 9/12 09.12.2024
--	--	-------------------------

Конвейер данных

Для реализации непрерывной потоковой обработки данных с видеопотоков была выбрана Kafka. Kafka является надёжной системой по управлению очередями сообщений, получению и распределению данных по связанным системам.

Политика очистки – спустя 3 часа записанные данные стираются для экономии памяти системы. Этого времени достаточно, чтобы модули обработали хранящуюся информацию, даже если возникнет временный сбой или перезапуск некоторых компонентов.

Временное хранилище кадров

Для реализации временного хранилища кадров была использована MinIO. MinIO была выбрана как удобный и надёжный сервер по хранению файлов изображений. MinIO используется как альтернатива чтению конкретных сообщений из очереди Kafka, которое в ходе испытаний показало свою нестабильность.

Политика очистки – спустя 3 часа записанные данные стираются для экономии памяти системы. Этого времени достаточно, чтобы абсолютное большинство пользователей смогло покинуть область камеры для завершения агрегации с последующим сохранением кадра в постоянное хранилище.

ML обработчики

Производит детектирование СИЗ, людей и их ключевых точек с помощью обученных на предоставленном заказчиком наборе данных моделях YOLO. Также отвечает за трекинг людей между входной последовательностью кадров с помощью алгоритма ВоT-SORT для обеспечения возможности последующей агрегации данных во времени.

Каждая группа обработчиков подключена только к одному видеопотоку для возможности масштабирования и обеспечения условий работы алгоритма трекинга.

Результатом обработки являются: ограничивающие рамки и уверенность детектирования СИЗ, ограничивающие рамки, ключевые точки конечностей и уверенность детектирования всех людей на рассматриваемом кадре вместе с присвоенными идентификаторами людей. Данная информация объединяется для последующего анализа на наличие нарушений.

Детектор нарушения СИЗ

На основании данных от ML обработчиков производит поиск целевых областей СИЗ, сопоставление найденных объектов СИЗ с человеком, сопоставление объектов СИЗ человека с целевыми областями.

Поиск целевых областей СИЗ происходит на основании положений ключевых точек конечностей человека с помощью прописанной логики для каждого типа СИЗ. Формирование данной логики производилось эмпирически и отражает расположение СИЗ, описанное в Таблица 2.

Сопоставление объектов происходит с помощью расчёта площади пересечения ограничивающих рамок относительно площади их объединения. При превышении установленного порога два объекта считаются сопоставленными. Если для одного объекта СИЗ происходит сопоставление сразу с несколькими людьми, то сопоставление происходит

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 10/12 09.12.2024
--	--	--------------------------

на основании близости к целевой области СИЗ для каждого человека в отдельности. Один объект СИЗ может быть сопоставлен только с одним человеком.

На основании сопоставления объектов СИЗ человека с целевыми областями выносятся решения об отсутствии соответствующего типа СИЗ (нарушении) у каждого человека с определённой уверенностью на рассматриваемом кадре. Если сопоставление прошло успешно, то уверенность равна 0, иначе уверенность зависит от уверенности детектирования человека и объекта СИЗ.

Агрегатор нарушений

Производит агрегацию нарушений во времени для каждого нарушения и человека, вычисляя: среднюю уверенность нарушения и человека, дату и время наилучшего кадра. Наилучшим кадром считается тот, высота человека на котором максимальна (чем ближе к камере – тем лучше виден).

Для уменьшения количества записываемых нарушений дополнительно объединяет вычисленные статистики нарушений по дате и времени кадра по каждому человеку.

Для реализации агрегации используется система KsqlDB.

Модуль формирования нарушений

Производит окончательное формирование нарушений на основе собранных статистик модулем агрегации нарушений. При превышении порога список нарушений с информацией о человеке и исходном кадре отправляются дальше для их фиксации.

Архиватор нарушений

Производит получение нарушений из конвейера данных; получение исходных кадров, на которых эти нарушения были зафиксированы; сохранение информации о нарушениях в хранилище.

REST API

Предназначен для предоставления конечных точек доступа к функциям системы посредством взаимодействия через HTTP протокол согласно политике REST. Является промежуточным звеном между пользовательским интерфейсом и системой и реализует внутри себя логику данного взаимодействия.

Основой сервиса является библиотека FastAPI.

4.5. Логика обнаружения нарушений

Логика обнаружений нарушений представлена в виде BPMN схемы (см. Приложение А Рисунок А.2).

4.6. Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс для системы видеоаналитики представляет собой веб-интерфейс, связывающийся с системой с помощью REST API. Данный интерфейс позволяет пользователю производить:

- аутентификацию;
- создание, удаление и изменение прав учётных записей пользователей;

- создание, запуск/остановка, редактирование и удаление камер;
- просмотр информации о найденных нарушениях в формате списка или таблицы.

Более подробно со способами взаимодействия с веб-интерфейсом системы можно ознакомиться на диаграмме вариантов использования (см. Рисунок 1).

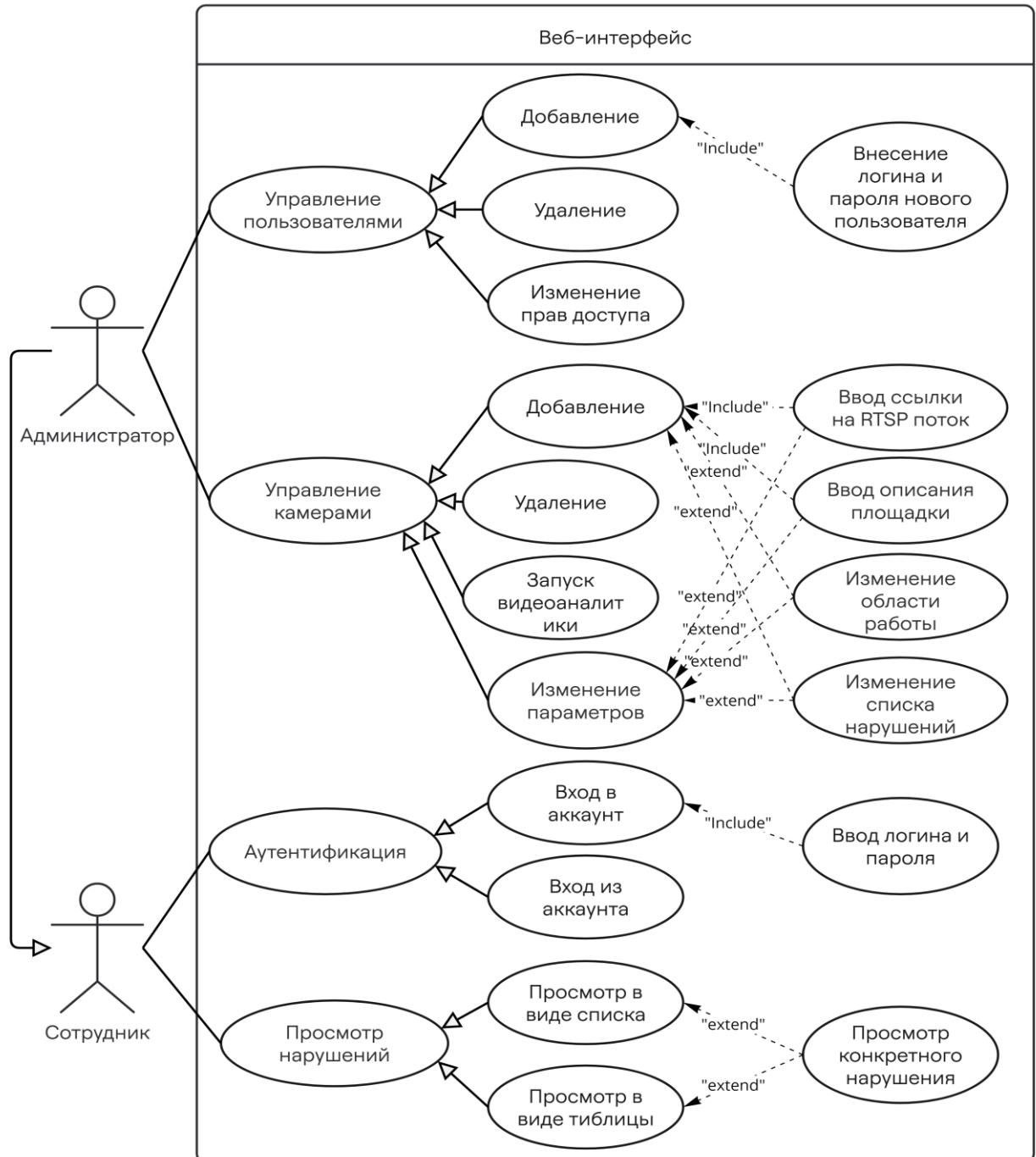


Рисунок 1 – UML диаграмма вариантов использования

Более подробно о пользовательском веб-интерфейсе можно узнать в документе «Инструкция пользователя и администратора», предоставляемого в рамках общего комплекта документации.

	Проектное решение. Универсальная система видеоаналитики средств индивидуальной защиты и промышленной безопасности ООО «Статанли»	Лист 12/12 09.12.2024
--	--	--------------------------

4.7. Безопасность

Взаимодействие с REST API системы производится с использованием JWT токена, предварительно выданного в рамках аутентификации. Передача данных осуществляется по протоколу HTTP в рамках закрытой сети. Использование HTTPS протокола затруднено сложностями в выдаче сертификатов. Ввиду политик безопасности закрытой сети, протокол HTTP был принят достаточным для обеспечения необходимого уровня безопасности.

Другие межкомпонентное взаимодействие производится в рамках локальной сети Docker, а сами компоненты не имеют выход во внешнюю сеть, что исключает возможность доступа к ним без получения прямого доступа к серверу.

Взаимодействие с системой InSight осуществляется с помощью HTTP протокола из за ограничений самой системы InSight, существовавших на момент реализации системы.

4.8. Лицензирование

Используемые программные компоненты системы (см. Таблица 3 не требуют лицензии или имеют лицензии с открытым исходным кодом, что позволяет их использовать без дополнительной покупки лицензий