

## **СНИЖЕНИЕ РИСКА АВАРИЙ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ И НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЮ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

**Д. А. Коробова, Р. А. Таранов**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия*

**Ключевые слова:** анализ риска; вероятность возникновения аварии; дерево отказов; пожаровзрывоопасные объекты; система интеллектуального видеонаблюдения; цифровая система управления промышленной безопасностью.

**Аннотация:** Рассмотрены подходы к снижению риска аварий на пожаровзрывоопасных объектах. Представлен анализ системы интеллектуального видеонаблюдения и цифровой системы управления промышленной безопасностью для снижения вероятности возникновения аварий. Приведено описание функциональных возможностей данных систем. Проанализированы риски возникновения аварий до и после реализации предложенных технических решений. Сделан вывод о достижении снижения риска не менее чем в 10 раз.

### **Введение**

Пожаровзрывоопасные объекты представляют серьезные угрозы для безопасности населения и окружающей среды. Аварии на таких объектах могут иметь серьезное воздействие на природную среду и ее компоненты.

1. *Загрязнение воздуха.* Взрывы характеризуются выбросом токсичных газов и частиц в атмосферу, что оказывает негативное воздействие на биосферу.

2. *Разрушение мест обитаний.* Взрывы и разрушения, вызванные авариями, могут уничтожить места обитания животных и растений, нанося тем самым угрозу биоразнообразию.

3. *Загрязнение водных ресурсов.* Взрывы и выбросы могут также оказывать негативное влияние на водоемы, что создает опасность для водных организмов и водных экосистем.

---

Коробова Дарья Алексеевна – магистрант, e-mail: korobova.da@yandex.ru; Таранов Роман Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия.

4. *Распространение огня.* Распространение пожаров в результате аварии может вызвать повышенные выбросы загрязняющих веществ и разрушение природной среды.

5. *Долгосрочное воздействие.* Взрывчатые вещества и их химические компоненты могут накапливаться и оставаться в почве и воде долгое время, что создает долгосрочные экологические проблемы.

В связи с этим обеспечение безопасности на пожаровзрывоопасных объектах и эффективные меры по предотвращению аварий имеют важное значение для снижения негативного воздействия на экологию. Соблюдение строгих мер по снижению риска аварий на таких объектах имеет первостепенное значение. В данной статье рассмотрены методические и технические подходы, которые помогают предотвратить пожары и взрывы на опасных объектах.

1. Анализ рисков и управление ими [1]. Первым и ключевым шагом является проведение анализа рисков. Это включает в себя идентификацию потенциальных опасностей, оценку вероятности их возникновения и оценку возможных последствий. На основе данной информации разрабатывается план управления рисками, который включает в себя конкретные мероприятия по их снижению.

2. Эффективная система управления безопасностью. Разработка и внедрение системы управления безопасностью, которая включает планирование, контроль и постоянное улучшение мероприятий по снижению риска, помогает обеспечить систематический подход к безопасности на объекте.

3. Безопасность при проектировании [2]. При строительстве и реконструкции пожаровзрывоопасных объектов необходимо учитывать аспекты безопасности. Это включает правильное размещение оборудования, использование огнезащитных материалов и систем аварийного отключения.

4. Обучение и подготовка персонала [3]. Сотрудники, работающие на опасных объектах, должны быть обучены и знать, как действовать в чрезвычайных ситуациях. Это включает в себя знание эвакуационных маршрутов, использование средств пожаротушения и правила поведения при обнаружении утечек взрывоопасных веществ.

5. Использование средств контроля и обнаружения. Установка современных систем детекции пожаров и взрывоопасных веществ помогает выявлять потенциальные опасности на ранних стадиях. Это дает возможность принимать меры до того, как ситуация станет критической.

6. Регулярные проверки и обслуживание. Регулярные инспекции, техническое обслуживание и испытания оборудования необходимы для обеспечения его надежной работы.

7. Соблюдение стандартов и нормативов. Соблюдение всех применимых стандартов и нормативов в области пожарной и взрывопожарной безопасности обязательно. Эти стандарты разрабатываются с учетом лучших практик и опыта.

*Цель работы* – анализ рисков и разработка плана управления ими, включающего конкретные мероприятия по их снижению, а также разработка и внедрение системы управления безопасностью.

## Анализ рисков

В качестве примера рассмотрим процесс ведения технологического процесса со взрывчатыми веществами (ВВ) и материалами (ВМ). При проведении технологических процессов возможны два сценария, связанных с инициированием ВВ/ВМ (табл. 1).

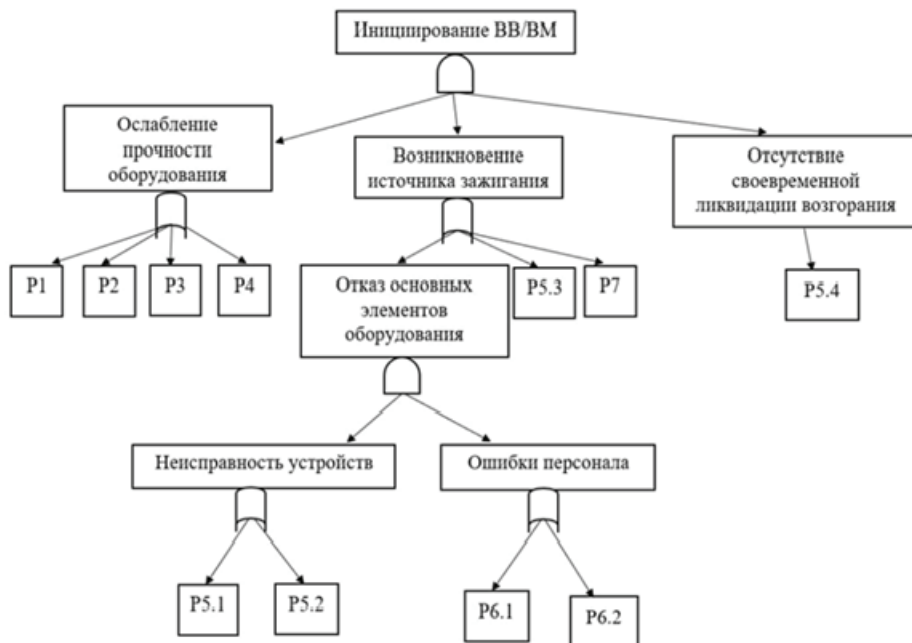
На рисунке 1 представлено «Дерево отказов» для анализа аварий, происходящих при ведении технологического процесса» [4].

Верхнее нежелательное событие (ВНС): «Инициирование ВВ/ВМ». Иницирующие базовые случайные события (БС): P1 – дефект изготовления оборудования; P2 – дефект материала оборудования; P3 – механические

Таблица 1

**Сценарии аварий при проведении технологического процесса с ВВ/ВМ**

Сценарий	Содержание сценария
Детонация	Детонация ВВ/ВМ в оборудовании → взрыв → барическое поражение персонала/площадки → пожар на территории площадки и термическое поражение персонала/площадки
Горение ВВ без перехода в детонацию	Возгорание ВВ/ВМ в оборудовании → разрастание очага возгорания ВВ → пожар ВВ в помещении → термическое воздействие на персонал и строительные конструкции здания + + интоксикация продуктами сгорания



**Рис. 1. Дерево отказов, моделирующее развитие возможной аварии «Инициирование ВВ/ВМ» при ведении технологического процесса**

повреждения оборудования; P4 – коррозия элементов оборудования; P5 – возникновение источника зажигания: P5.1 – неисправность АСУ; P5.2 – неисправность подвижных частей технического устройства; P5.3 – нарушение правил пожаробезопасности; P5.4 – отсутствие своевременной ликвидации пожара; P6 – ошибки персонала: P6.1 – нарушение правил ведения техпроцесса; P6.2 – использование спецодежды, не соответствующей требованиям; P7 – падение изделий, содержащих твердое ракетное топливо.

Для выполнения частотного анализа приняты следующие условные значения интенсивностей и вероятностей базовых опасных событий:

$$P1 = P2 = P3 = P4 = 5 \cdot 10^{-3} [5].$$

Вероятности отказов, полученные с помощью метода подбора аналогов:

$$P5.1 = 5 \cdot 10^{-3};$$

$$P5.2 = 5 \cdot 10^{-3};$$

$$P5.3 = 1 \cdot 10^{-2};$$

$$P5.4 = 5 \cdot 10^{-2};$$

$$P6.1 = 1 \cdot 10^{-2};$$

$$P6.2 = 1 \cdot 10^{-2};$$

$$P7 = 1 \cdot 10^{-2}.$$

Принимая метод логических переключений, определяем значение интенсивности (частоты) появления верхнего нежелательного события

$$F_{\text{ВНС}} = (P1 + P2 + P3 + P4) \cdot [(P 5.1 + P 5.2) \cdot (P6.1 + P6.2) + (P 5.3 + P7)] \cdot P5.4 = 4,6 \cdot 10^{-5}.$$

Дерево событий возможных аварий представлено на рис. 2 [6].

Перемножив значение частоты появления ВНС на значения дерева событий, получим вероятности возникновения аварий, 1/год (табл. 2)

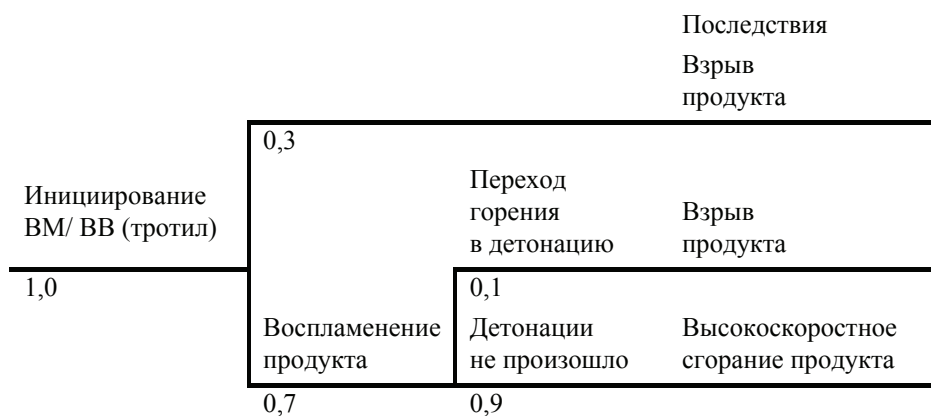


Рис. 2. «Дерево событий» для ВВ/ВМ

Таблица 2

**Значения вероятности аварий при технологическом процессе с ВВ/ВМ**

Сценарий	Значение вероятности реализации, 1/год
Детонация	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Горение ВВ без перехода в детонацию	$2,9 \cdot 10^{-5}$

**Предложение по снижению вероятности возникновения аварий**

Предлагается обеспечить снижение вероятности возникновения риска аварий и связанных с ними угроз в десять раз в результате внедрения системы интеллектуального видеонаблюдения (СИВ) и цифровой системы управления промышленной безопасностью (ЦСУПБ).

Система интеллектуального видеонаблюдения представляет собой комплекс программных и технических средств, позволяющий получать оперативную видеoinформацию, анализ отклонения и нарушения инцидентов, а также реализовывать оперативное реагирование инцидентов [7].

Применение СИВ имеет несколько уникальных преимуществ для снижения риска аварий на объектах с взрывчатыми веществами:

1) раннее обнаружение проблем. Интеллектуальные системы видеонаблюдения могут автоматически обнаруживать нештатные ситуации, такие как внезапные изменения температуры, дым или движение в опасных зонах, что позволяет операторам и сотрудникам оперативно реагировать на потенциальные угрозы;

2) анализ данных. Система интеллектуального видеонаблюдения способна анализировать данные в режиме реального времени и предупреждать о возможных нарушениях безопасности. Она включает в себя распознавание лиц, номеров автомобилей, анализ движения и другие параметры, которые могут свидетельствовать о рисках;

3) дополнительная безопасность. Такие системы могут комбинироваться с другими технологиями, такими как датчики движения, системы контроля температуры и давления, что усиливает уровень безопасности;

4) уменьшение человеческого вмешательства. Интеллектуальные системы видеонаблюдения могут снизить зависимость от операторов и персонала, так как многие функции выполняются автоматически, что сокращает вероятность человеческих ошибок и повышает эффективность;

5) интеграция с системами управления. Системы интеллектуального видеонаблюдения легко интегрируются с системами управления и управления доступом, что упрощает координацию действий в случае аварий и позволяет эффективно управлять доступом к опасным зонам.

Таким образом, интеллектуальное видеонаблюдение дополняет традиционные методы обеспечения безопасности на объектах с взрывчатыми веществами, предоставляя более точные и оперативные данные для предотвращения аварий и минимизации рисков.

Система интеллектуального видеонаблюдения производит сплошную видеозапись и хранение видеозаписи в течение не менее 60 дней для обеспечения возможности отсроченного анализа происходящих событий, в том числе для проведения анализа качества выполняемых работ в процессе проведения внутренних проверок, учитываемых в ЦСУПБ.

Цифровая система управления промышленной безопасностью – совокупное название программных продуктов (информационных систем), внедряемых на предприятии для контроля процессов управления в области техносферной безопасности. Она должна обеспечивать сбор, хранение, обработку, анализ и визуализацию данных, необходимых для принятия решений при управлении процессами в области промышленной безопасности (ПБ) и охраны труда (ОТ), планирование и контроль мероприятий, анализ рисков, формирование регламентированной отчетности, информационное сопровождение бизнес-процессов в области управления безопасностью предприятия.

В первую очередь внедрение ЦСУПБ позволяет обеспечить:

- повышение уровня квалификации сотрудников и внедрение дополнительных инструментов контроля за счет контроля ЦСУПБ по проведению инструктажей и аттестаций персонала и допуска к операциям опытных сотрудников или обязательный контроль операций опытными сотрудниками (в том числе, за счет накопления положительного подтвержденного опыта выполнения операций);

- повышение оперативного контроля за техническим состоянием оборудования и транспорта, проведение регламентных и ремонтных работ оборудования и транспорта, в том числе своевременность проведения работ, контроль допуска сотрудников к проведению работ с учетом квалификации и опыта проведения работ. Фиксация проводимого осмотра в ЦСУПБ и контроль СИВ за проведением регламентных и ремонтных работ;

- контроль ЦСУПБ по обеспечению работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и контроль СИВ по наличию СИЗ у работников во время выполнения работ;

- внедрение средствами ЦСУПБ системы учета нарушений сотрудниками и системы выработки и принятия мер воздействия по выявленным нарушениям.

### **Анализ предложенных систем при технологическом процессе с ВВ/ВМ**

Для контроля технологического процесса с ВВ/ВМ необходимы следующие функциональные модули СИЗ:

- детекция огня и дыма;
- детекция человека;
- наличие спецодежды, СИЗ;
- подсчет числа людей.

Система интеллектуального видеонаблюдения и цифровая система управления ПБ являются мерами воздействия на уровень риска возникновения аварии при проведении опасных и особо опасных операций, а также мерами дополнительного контроля требований ПБ и ОТ в зданиях.

Таблица 3

**Меры воздействия СИВ и ЦСУПБ, направленные  
на снижение риска возникновения опасных иницирующих событий**

Опасное событие	Меры воздействия СИВ и ЦСУПБ
Нарушение ведения техпроцесса персоналом	Повышение контроля за соблюдением требований безопасности ведения техпроцесса: – контроль СИВ за требованием к нахождению или отсутствию человека в зоне; – контроль СИВ за требованием по ограничению числа людей, находящихся в помещениях, зданиях
Использование спецодежды, не соответствующей требованиям норм и правил	Контроль ЦСУПБ по обеспечению работников СИЗ. Контроль СИВ по наличию СИЗ и спецодежды у работников во время выполнения операций
Отсутствие своевременной ликвидации очага возгорания	Повышение контроля за соблюдением правил взрывопожаробезопасности: контроль СИВ по обнаружению наличия дыма и огня в области видимости камеры
Нарушение правил пожаровзрывобезопасности	Повышение контроля за соблюдением правил пожаровзрывобезопасности: – определение СИВ наличия средств индивидуальной защиты и спецодежды; – определение СИВ наличия загромождений проходов на производствах, где необходимо соблюдение правил технологической планировки; – мониторинг и контроль за состоянием средств пожаротушения, фиксация результатов проверок в ЦСУПБ

На основании возможностей функциональных модулей СИВ для проводимых в здании опасных и особо опасных операций, а также с учетом требований ПБ, ОТ и пожарной безопасности, сформированы модели влияния внедряемых технических решений на вероятности возникновения иницирующих опасных событий в рамках технологических процессов, приводящих к потенциальной аварии на объекте.

В таблице 3 представлен сводный перечень опасных иницирующих событий, возникающих в рамках технологических процессов, с описанием мер воздействия СИВ и ЦСУПБ, направленных на снижение риска возникновения опасных иницирующих событий.

**Результаты внедрения предложенной системы  
снижения вероятности аварий**

Перечень опасных иницирующих событий, интенсивность и вероятность которых будет снижена за счет внедряемых технических решений СИВ и ЦСУПБ, приведена в табл. 4.

Таблица 4

**Вероятные ошибки персонала**

Опасное событие, тип нарушения	Условные значения интенсивностей и вероятностей	
	до внедрения	после внедрения
Нарушение ведения техпроцесса персоналом	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Использование спецодежды, не соответствующей требованиям норм и правил		
Отсутствие своевременной ликвидации очага возгорания	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Нарушение правил пожаровзрывобезопасности	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$

Таблица 5

**Значения вероятности аварий при технологическом процессе с ВВ/ВМ после внедрения технических решений**

Сценарий	Значение вероятности реализации, 1/год
Детонация	$8,5 \cdot 10^{-7}$
Горение ВВ без перехода в детонацию	$1,5 \cdot 10^{-6}$

Определяем значение интенсивности (частоты) появления ВНС по дереву отказов (см. рис. 1) с учетом снижения вероятности опасных событий:

$$F_{\text{ВНС}} = (P1 + P2 + P3 + P4) \cdot [(P 5.1 + P 5.2) \cdot (P6.1 + P6.2) + (P 5.3 + P7)] \cdot P5.4 = 2,3 \cdot 10^{-5}.$$

Перемножив значение частоты появления ВНС на значения дерева событий (см. рис. 2), получим вероятности возникновения аварий, 1/год (табл. 5)

**Заключение**

В результате внедрения системы интеллектуального видеонаблюдения и цифровой системы управления промышленной безопасностью достигается повышение контроля за технологическим процессом с ВВ/ВМ.

За счет снижения значений интенсивностей и вероятностей инициирующих базовых событий итоговые показатели риска аварии, выражаемые

в значении интенсивности (частоты) появления верхнего нежелательного события и(или) значении частоты реализации аварии (1/год), будут снижены не менее чем в 10 раз (см. табл. 2 и 5).

Таким образом, достигнуто снижение вероятности возникновения аварий при технологическом процессе с ВВ/ВМ не менее чем в 10 раз, за счет применения системы интеллектуального видеонаблюдения и цифровой системы управления промышленной безопасностью как инструмента снижения риска. Тем самым снижается вероятность оказания негативного воздействия на природную среду и ее компоненты.

#### *Список литературы*

1. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387. – Текст : электрон. // КонсультантПлюс. – URL : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_433652/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652/) (дата обращения: 18.09.2023).

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023 : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022). Статья 66. «Размещение взрывопожароопасных объектов». – Текст : электрон. // КонсультантПлюс. – URL : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/d24a01f2b7d14198f6da3de32d13fd5174d83160/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/d24a01f2b7d14198f6da3de32d13fd5174d83160/) (дата обращения: 18.09.2023).

3. СП 3.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 173). – Введ. 2009-05-01. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 10 с.

4. Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа»: приказ Ростехнадзора от 26 декабря 2018 г. № 647. – Текст : электрон. – URL : [https://ohranatruda.ru/upload/iblock/444/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-26\\_12\\_2018-N-647.pdf](https://ohranatruda.ru/upload/iblock/444/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-26_12_2018-N-647.pdf) (дата обращения: 18.09.2023).

5. Сафонов, В. С. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности / В. С. Сафонов, Г. Э. Одишария, А. А. Швыряев. – М. : НУМЦ Минприроды России, 1996. – 208 с.

6. ГОСТ Р 58771–2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. – Введ. 2019-12-17. М. : Стандартинформ, 2020. – 90 с.

7. Рыжова, В. А. Интеллектуальные системы видеонаблюдения : учеб. пособие. – Текст : электрон. / В. А. Рыжова, С. Н. Ярышев, В. В. Коротаев. – СПб. : Изд-во ун-та ИТМО, 2021. – 107 с. – URL : <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2680.pdf> (дата обращения: 18.09.2023).

#### *References*

1. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_433652/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433652/) (accessed 18 September 2023).

2. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/d24a01f2b7d14198f6da3de32d13fd5174d83160/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/d24a01f2b7d14198f6da3de32d13fd5174d83160/) (accessed 18 September 2023).

3. SP 3.13130.2009. *Svod pravil. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti* (March 25, 2009, no. 173). [Set of rules. Fire protection systems. Warning

and management system for evacuation of people in case of fire. Fire safety requirements], Moscow: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2009, 10 p. (In Russ.)

4. [https://ohranatruda.ru/upload/iblock/444/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-26\\_12\\_2018-N-647.pdf](https://ohranatruda.ru/upload/iblock/444/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-26_12_2018-N-647.pdf) (accessed 18 September 2023).

5. <https://www.geokniga.org/books/24174> (accessed 18 September 2023).

6. GOST R 58771–2019. *Menedzhment riska. Tekhnologii otsenki riska* [Risk management. Risk assessment technologies.], Moscow: Standartinform, 2020, 90 p. (In Russ.)

7. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2680.pdf> (accessed 18 September 2023).

---

## **Reducing the Risk of Accidents at Fire and Explosion Hazardous Facilities and Their Negative Impact on the Environment Using the Monitoring System**

**D. A. Korobova, R. A. Taranov**

*Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University), Moscow, Russia*

**Keywords:** risk analysis; the likelihood of an accident; fault tree; fire and explosion hazardous objects; intelligent video surveillance system; digital industrial safety management system.

**Abstract:** Approaches to reducing the risk of accidents at fire and explosion hazardous facilities are considered. An analysis of an intelligent video surveillance system and a digital industrial safety management system to reduce the likelihood of accidents is presented. A description of the functionality of these systems is provided. The risks of accidents occurring before and after the implementation of the proposed technical solutions are analyzed. It was concluded that a risk reduction of at least 10 times has been achieved.

---

© Д. А. Коробова, Р. А. Таранов, 2023