

***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ***

***И ТЕХНОЛОГИЙ***

***КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ***

**ОТЧЕТ**

**ПО ИНДИВИДУАЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ**

**НА ТЕМУ: «Методы определения уровня безопасности потенциально опасных объектов (пожароопасных, взрыва опасных) в США»**

Студент Кузнецов Данила Денисович, 2 курса, группы РСК-23 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО) (подпись)

Руководитель практики от МГОТУ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(ФИО) (подпись)

Королев

2024

**Оглавление**

[**Введение 3**](#_Toc202000505)

[**1. Нормативная база обеспечения безопасности ПОО в США 4**](#_Toc202000506)

[**2. Классификация потенциально опасных объектов 5**](#_Toc202000507)

[**3. Методы идентификации и анализа опасностей 6**](#_Toc202000508)

[**4. Количественные методы оценки риска (QRA) 8**](#_Toc202000509)

[**5. Пожарно-взрывная безопасность и моделирование 10**](#_Toc202000510)

[**6. Системы маркировки и визуального оповещения 12**](#_Toc202000511)

[**7. Аудит, мониторинг и инспекционный контроль 14**](#_Toc202000512)

[**8. Безопасность персонала и профессиональные оценки риска 16**](#_Toc202000513)

[**9. Практические кейсы и уроки из инцидентов 18**](#_Toc202000514)

[**10. Выводы 20**](#_Toc202000515)

[**Список литературы 21**](#_Toc202000516)

**Введение**

Потенциально опасные объекты (ПОО) — это объекты, на которых при нарушении условий эксплуатации возможно возникновение аварийных ситуаций, способных нанести вред жизни и здоровью людей, окружающей среде и материальным ценностям. К таким объектам относятся: нефтехимические предприятия, склады горючих веществ, газоперерабатывающие комплексы, химические заводы, хранилища аммиака и других токсичных и взрывоопасных веществ.

История промышленности США содержит множество примеров техногенных катастроф: взрыв на заводе BP в Техас-Сити (2005), авария на Deepwater Horizon (2010), инцидент в West Fertilizer Company (2013). Эти события стали катализатором формирования и совершенствования системы нормативного контроля, оценки рисков и надзора на федеральном и местном уровнях.

Цель данного отчета — всесторонне рассмотреть методы, применяемые в США для оценки и управления безопасностью пожаро- и взрывоопасных объектов, включая правовую базу, идентификацию опасностей, методы анализа, моделирования и мониторинга.

**1. Нормативная база обеспечения безопасности ПОО в США**

Безопасность потенциально опасных объектов в США регулируется совокупностью законов, федеральных стандартов, агентств и технических регламентов. К основным регулирующим органам относятся:

* **OSHA (Occupational Safety and Health Administration)** — управление по охране труда, входящее в структуру Министерства труда США. Оно отвечает за реализацию и контроль выполнения стандарта **Process Safety Management (PSM)** — 29 CFR 1910.119, регулирующего управление технологической безопасностью на предприятиях, использующих опасные химикаты.
* **EPA (Environmental Protection Agency)** — агентство по охране окружающей среды, разработало и внедряет программу **Risk Management Plan (RMP)**, регулирующую хранение, переработку и транспортировку химических веществ, а также требования к разработке планов реагирования на аварийные ситуации.
* **NFPA (National Fire Protection Association)** — негосударственная организация, разрабатывающая стандарты пожарной безопасности. Ключевые документы: **NFPA 30** (хранение ЛВЖ), **NFPA 68** (контроль и вентиляция взрывов), **NFPA 70** (электробезопасность — Национальный электрический кодекс), **NFPA 704** (система маркировки опасных веществ).

Другие важные документы:

* **Clean Air Act (Раздел 112(r))** — обязывает предприятия с опасными веществами соблюдать RMP.
* **OSHA HAZWOPER (1910.120)** — требования к подготовке персонала на опасных химических объектах.
* **Chemical Facility Anti-Terrorism Standards (CFATS)** — регулирует антитеррористическую защиту ПОО.

Все предприятия обязаны:

* определять перечень опасных веществ;
* рассчитывать последствия возможных аварий;
* разрабатывать и внедрять меры по предотвращению инцидентов;
* проводить подготовку персонала;
* регулярно проводить внутренние и внешние аудиты.

### ****2. Классификация потенциально опасных объектов****

В США классификация потенциально опасных объектов (ПОО) проводится на основе степени риска, свойств обращающихся веществ, технологических процессов и потенциальных последствий аварий. Основу классификации составляют нормативы OSHA, EPA и стандарты NFPA.

#### **Основные категории ПОО:**

1. **Пожароопасные объекты**  
   Объекты, на которых хранятся или используются легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), газы, аэрозоли, сжиженные углеводородные газы. К ним относятся: нефтебазы, автозаправочные станции, склады лакокрасочной продукции, растворителей.
2. **Взрывоопасные объекты**  
   Это предприятия, на которых присутствует вероятность образования взрывоопасной среды и существуют источники воспламенения. Примеры: аммиачные холодильники, производства с пылеобразными материалами, установки с избыточным давлением, системы хранения водорода или пропана.
3. **Химически опасные объекты**  
   Используют или хранят токсичные, едкие, канцерогенные вещества. В случае утечки возможны массовые отравления, химическое загрязнение среды. Примеры: хранилища хлора, аммиака, серной кислоты.
4. **Радиационно опасные объекты**  
   АЭС, научные центры с радиоактивными материалами, хранилища отработанного ядерного топлива.

#### **Классы опасности веществ:**

По стандартам **GHS** (Система классификации химических веществ, действующая в США), опасные вещества делятся по таким признакам:

* физическая опасность (воспламеняемость, взрывчатость, реактивность);
* токсикологическая опасность (острая, хроническая, канцерогенность);
* опасность для окружающей среды (водная токсичность, устойчивость).

#### **Дополнительные факторы при классификации объектов:**

* Количество вещества (например, более 10 000 фунтов аммиака требует RMP-сообщения в EPA).
* Расположение объекта (вблизи жилых зон, водоёмов, школ).
* История инцидентов и техническое состояние оборудования.
* Применение автоматизированных систем мониторинга и управления.

Таким образом, классификация ПОО в США проводится строго и комплексно, влияя на уровень регуляторного контроля, периодичность проверок, обязательность аварийного планирования и уровень подготовки персонала.

### ****3. Методы идентификации и анализа опасностей****

Выявление потенциальных опасностей (hazard identification) является основополагающим элементом системы обеспечения промышленной безопасности в США. На практике используются как качественные, так и количественные методы анализа. Эти методы позволяют определить сценарии возможных аварий, оценить последствия, выявить «слабые места» в проектировании, организации процессов и эксплуатации оборудования.

#### **3.1. Качественные методы анализа опасностей:**

1. **HAZID (Hazard Identification)**  
   Применяется на ранних этапах проектирования или модернизации объекта. Представляет собой экспертную сессию (brainstorm), где специалисты разных профилей (инженеры, технологи, операторы) обсуждают возможные источники опасности на основе функциональных схем, P&ID, характеристик веществ.
2. **What-If анализ**  
   Метод построен на постановке условных вопросов: «А что, если…?» Например, что произойдёт, если откажет насос, загорится кабель, отключится система охлаждения? Используется в комбинации с контрольными списками (checklists).
3. **HAZOP (Hazard and Operability Study)**  
   Один из наиболее детализированных и широко используемых методов в США. Основан на пошаговом анализе технологического процесса по девиациям (отклонениям): «нет потока», «слишком высокое давление», «переполнение» и др. Применяется команда экспертов, используется протоколирование и рекомендации по изменению системы.
4. **FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)**  
   Метод систематического анализа возможных отказов элементов оборудования и их влияния на общую безопасность объекта. Применяется для критических участков, включая системы автоматического управления, резервные источники питания и клапаны безопасности.
5. **Job Hazard Analysis (JHA)**  
   Анализ рисков конкретной рабочей операции или задания. Распределяется по этапам: описание работы, идентификация опасностей на каждом этапе, меры по устранению или снижению рисков.

#### **3.2. Документирование и сопровождение:**

* Все процедуры идентификации опасностей должны быть задокументированы.
* Результаты анализа становятся основой для разработки операционных инструкций, тренингов и планов по предотвращению инцидентов.
* Процедуры пересматриваются регулярно (обычно раз в 5 лет), особенно после инцидентов или изменений на объекте.

#### **3.3. Связь с нормативами:**

OSHA требует применения как минимум одного метода анализа опасностей для всех объектов, подпадающих под стандарт **Process Safety Management (PSM)**. EPA включает идентификацию опасностей как обязательный компонент в **Risk Management Plan (RMP)**.

### ****4. Количественные методы оценки риска (QRA)****

**Quantitative Risk Assessment (QRA)** — это систематический подход к количественной оценке уровня риска на потенциально опасных объектах. В США QRA широко применяется на объектах нефтегазовой, химической и энергетической промышленности. Основная задача QRA — определить вероятность аварийных событий и оценить их последствия в числовом выражении.

#### **4.1. Цели и задачи QRA:**

* Установить вероятность возникновения аварии (например, утечка газа, взрыв, пожар).
* Оценить масштабы последствий (зоны поражения, количество пострадавших, ущерб окружающей среде).
* Определить уровень индивидуального и общественного риска.
* Разработать меры по снижению рисков до приемлемого уровня (ALARP — As Low As Reasonably Practicable).

#### **4.2. Этапы проведения QRA:**

1. **Определение сценариев инцидентов**  
   Анализируются возможные опасные события: утечка вещества, разрушение оборудования, отказ клапанов и т. д. Учитываются как первичные события (например, разрушение резервуара), так и вторичные (пожар после утечки).
2. **Анализ частоты событий**  
   Частота рассчитывается по исторической статистике инцидентов, данным отраслевых баз (например, API, CCPS), а также по результатам анализа дерева отказов (**Fault Tree Analysis — FTA**).
3. **Анализ последствий**  
   Используются **модели распространения**: взрывной волны, огня, токсичного облака. Инструменты моделирования:
   * **PHAST** (DNV) — расчет взрывов, выбросов и последствий.
   * **ALOHA** (EPA) — для анализа химических утечек.
   * **FLACS** — CFD-моделирование взрывных процессов.  
     Эти программы рассчитывают тепловое излучение, уровни давления, токсичность, радиус зоны поражения.
4. **Расчет риска**  
   Используются метрики:
   * **Индивидуальный риск (IR)** — вероятность смертельного исхода для отдельного человека в конкретной точке.
   * **Общественный риск (SR)** — оценка количества пострадавших в зависимости от масштабов аварии.  
     Строятся **FN-кривые** (frequency-number curves), показывающие зависимость между числом жертв и вероятностью аварий.
5. **Оценка соответствия нормативам**  
   Результаты QRA сопоставляются с критериями, установленными в нормативных документах (например, допустимый риск смерти — 1×10⁻⁶ в год для общественных территорий).

#### **4.3. Применение QRA:**

* При проектировании новых объектов (в рамках EIA — Environmental Impact Assessment).
* При изменении технологических процессов.
* Для обоснования уровня защиты (LOPA — Layers of Protection Analysis).
* В рамках RMP и PSM.

#### **4.4. Примеры использования:**

* Анализ риска для объектов хранения пропана на территории мегаполисов.
* Оценка последствий разрушения реактора при производстве аммиака.
* Сравнение рисков при разных схемах вентиляции помещений с ЛВЖ.

### ****5. Пожарно-взрывная безопасность и моделирование****

Пожарно-взрывная безопасность (Fire and Explosion Safety, FES) — ключевое направление в обеспечении защиты объектов с повышенным уровнем риска. В США разработаны передовые подходы к оценке, предотвращению и моделированию пожаров и взрывов, основанные как на инженерных расчётах, так и на физико-математическом моделировании.

#### **5.1. Методика FERA (Fire and Explosion Risk Assessment)**

**FERA** — это специализированная оценка риска возникновения пожара или взрыва на объекте. Методика применяется на объектах, где используются или хранятся легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества.

Основные этапы FERA:

* Идентификация возможных источников воспламенения и взрывоопасных смесей.
* Расчёт энергии взрыва и интенсивности теплового излучения.
* Определение зон возможного поражения (по уровням излучения: 4 кВт/м² — ожоги, 12 кВт/м² — воспламенение).
* Анализ конструктивной уязвимости зданий, оборудования и персонала.
* Оценка степени защищённости и предложения по модернизации (огнезащита, системы обнаружения и тушения, физические барьеры).

#### **5.2. CFD-моделирование пожаров и взрывов**

**CFD (Computational Fluid Dynamics)** — численное моделирование течения газов, жидкости, распространения тепла и давления. Используется для прогнозирования поведения опасных событий в пространстве и времени.

Популярные программные пакеты:

* **FLACS (FLame ACceleration Simulator)** — один из самых точных CFD-кодов, применяется для анализа взрывных волн и их взаимодействия со строениями.
* **FDS (Fire Dynamics Simulator)** — разработан NIST, используется для оценки распространения дыма и огня в помещениях.
* **AFT Impulse / ALOHA** — модели распространения давления и токсичных облаков.

CFD позволяет:

* Смоделировать развитие аварии с учетом архитектуры объекта.
* Определить наихудшие сценарии (worst case).
* Проверить эффективность систем вентиляции и пожаротушения.
* Предотвратить вторичные взрывы (например, от разрушения перегородок, трубопроводов).

#### **5.3. Сценарии пожаров и взрывов**

В практике анализа часто используют следующие типовые сценарии:

* BLEVE (взрыв испаряющейся жидкости) — характерен для сжиженных углеводородов.
* Flash Fire — воспламенение газового облака без взрыва.
* Vapor Cloud Explosion (VCE) — взрыв парогазового облака.
* Pool Fire — пожар разлившейся жидкости.
* Jet Fire — факельный выброс при разрушении трубопровода.

#### **5.4. Реализация на объектах**

После проведения моделирования принимаются инженерные решения:

* Установка огнестойких преград и клапанов.
* Автоматизация систем тушения и вентиляции.
* Сигнализация и аварийное отключение.
* Перепроектирование участков с высокой уязвимостью.

### ****6. Системы маркировки и визуального оповещения****

Системы маркировки и визуального оповещения играют важную роль в управлении промышленной безопасностью, особенно на объектах с присутствием пожаро- и взрывоопасных веществ. В США разработаны стандартизированные системы, позволяющие быстро и чётко идентифицировать степень опасности вещества или участка, повысить осведомлённость персонала и служб экстренного реагирования.

#### **6.1. Система NFPA 704 (Fire Diamond)**

NFPA 704 — это система кодовой маркировки химических веществ, также известная как "огненный ромб". Она была разработана Национальной ассоциацией противопожарной защиты и является обязательной к применению на объектах, где хранятся или используются опасные химикаты.

**Огненный ромб** состоит из четырёх цветных секторов:

* **Красный (вверху)** — степень огнеопасности (от 0 до 4).
* **Синий (слева)** — угроза для здоровья (от 0 до 4).
* **Жёлтый (справа)** — реактивность вещества (возможность взрыва, нестабильность).
* **Белый (внизу)** — особые указания (например, «OX» — окислитель, «W» — избегать контакта с водой).

Система позволяет пожарным и персоналу быстро оценить уровень опасности вещества даже без доступа к технической документации.

#### **6.2. Система HMIS (Hazardous Materials Identification System)**

Система **HMIS**, разработанная Американским институтом производителей лакокрасочной продукции, используется для оценки внутренней безопасности в организациях. Как и NFPA 704, она применяет числовую шкалу от 0 до 4, но имеет ориентацию на повседневное использование персоналом.

Обозначает:

* Здоровье;
* Огнеопасность;
* Физическую опасность;
* Средства индивидуальной защиты (PPE).

HMIS чаще используется в офисных и лабораторных условиях, а NFPA — для аварийного реагирования.

#### **6.3. GHS (Globally Harmonized System)**

США приняли международную систему **GHS** (Глобально гармонизированная система классификации и маркировки химикатов), которая регулируется через **Hazard Communication Standard** от OSHA (1910.1200). Основные компоненты GHS:

* **Пиктограммы** (восьмиугольники с символами: пламя, череп, коррозия и др.).
* **Классификация опасности** по категориям.
* **Маркировка контейнеров**.
* **Паспорта безопасности (SDS)** — обязательные документы на каждое вещество.

#### **6.4. Средства визуального оповещения**

К системам визуального оповещения на ПОО также относятся:

* Световые табло (индикаторы загазованности, состояния вентиляции, температуры).
* Сигнальные огни (мигающие маяки для аварийных режимов).
* Цветовые схемы трубопроводов по ANSI/ASME A13.1.
* Указатели эвакуационных выходов, планов эвакуации и мест хранения СИЗ.

#### **6.5. Практическое значение**

Чёткая визуализация рисков:

* Повышает оперативность реагирования.
* Уменьшает число ошибок персонала.
* Улучшает восприятие опасности посторонними лицами и инспекционными органами.

### ****7. Аудит, мониторинг и инспекционный контроль****

Контроль за безопасностью потенциально опасных объектов (ПОО) в США осуществляется через систему регулярных аудитов, технологического мониторинга и инспекций, выполняемых как внутренними службами, так и государственными регуляторами (OSHA, EPA, DHS). Эффективность этих механизмов играет ключевую роль в предупреждении аварий и повышении уровня промышленной безопасности.

#### **7.1. Аудит системы управления безопасностью (PSM Audit)**

Согласно требованиям **OSHA 1910.119**, каждое предприятие, подпадающее под действие **Process Safety Management**, обязано не реже одного раза в 3 года проводить внутренний аудит всех компонентов системы управления безопасностью. Это включает:

* Проверку документации (процедур, инструкций, планов реагирования).
* Анализ корректности проведения идентификации опасностей (HAZOP, FMEA и др.).
* Оценку эффективности технических и организационных барьеров.
* Опрос и аттестацию персонала на знание аварийных процедур.
* Составление отчёта, в котором указываются выявленные несоответствия и мероприятия по их устранению.

Также допускается привлечение независимых сторон для проведения внешнего аудита (third-party audit).

#### **7.2. Мониторинг технического состояния**

Постоянный контроль параметров производственного процесса осуществляется с помощью автоматизированных систем:

* **Системы непрерывного газового мониторинга** — детекторы LEL (нижний предел взрываемости), сенсоры H₂S, CO, NH₃.
* **Пожарные датчики** — тепловые, дымовые, ИК- и УФ-детекторы.
* **Системы утечки давления** — отслеживают отклонения в трубопроводах и резервуарах.
* **Видеоаналитика** и термовизоры — используются для обнаружения перегрева, пламени, искрения.

Интеграция с **SCADA** и **DCS** позволяет в режиме реального времени отображать, анализировать и архивировать данные с датчиков.

#### **7.3. Инспекции и надзорные проверки**

В США инспекции проводятся как **планово**, так и **внепланово**:

* **OSHA** — проверяет соответствие PSM, условия труда, использование СИЗ, обучение персонала.
* **EPA** — проверяет реализацию программы **RMP**, готовность к чрезвычайным ситуациям, журнал технического обслуживания, систему уведомлений.
* **DHS (Department of Homeland Security)** — осуществляет проверки по стандарту **CFATS**, включая защиту от саботажа, киберугроз и терроризма.

Инспекционные органы имеют право временно приостановить деятельность объекта при выявлении серьёзных нарушений.

#### **7.4. Документооборот и отслеживание замечаний**

* Все результаты аудитов и инспекций документируются в системе **Management of Change (MOC)**.
* Сроки устранения замечаний контролируются через внутренние чек-листы и цифровые панели контроля.
* Используются базы данных инцидентов (например, **CHEMICAL SAFETY BOARD**) для сравнения с аналогичными случаями на других объектах.

#### **7.5. Роль независимых аудитов**

Независимые аудиты, проводимые сертифицированными компаниями (например, DNV, ABS Group), применяются при страховании объекта, аккредитации международных стандартов (ISO 45001, ISO 14001), проектировании новых производств и оценке остаточного срока службы оборудования.

### ****8. Безопасность персонала и профессиональные оценки риска****

Одной из центральных задач промышленной безопасности на потенциально опасных объектах (ПОО) в США является обеспечение защиты персонала — как физической, так и профессиональной. Это достигается через системную оценку рисков для здоровья, обучение сотрудников, использование средств индивидуальной защиты (СИЗ), а также внедрение принципов «поведенческой безопасности».

**8.1. Оценка рисков для здоровья и труда (Health Hazard Assessment)**

Оценка профессионального риска проводится в соответствии с методикой **Health Hazard Assessment (HHA)**, которая включает:

* Анализ экспозиции персонала к вредным веществам (токсичные пары, пыль, шум, радиация).
* Выявление работ с повышенной вероятностью получения травм.
* Расчёт предельно допустимых концентраций (ПДК) на рабочих местах — в соответствии с нормами **OSHA Permissible Exposure Limits (PELs)**.
* Установление индивидуальных и групповых рисков по профессиям, участкам, режимам работы.

Для оценки применяются:

* Лабораторные измерения (газоанализ, шумомеры, термоанализаторы).
* Биомониторинг (анализ крови, мочи, внешней среды).
* Поведенческие и эргономические исследования.

#### **8.2. Средства индивидуальной защиты (PPE)**

Использование СИЗ строго регулируется стандартами **OSHA 1910 Subpart I**:

* Каски, защитные очки, перчатки, изолирующие костюмы.
* СИЗ органов дыхания (маски, противогазы) при работе с аммиаком, хлором, фреонами.
* Теплозащитные и антипиреновые костюмы при обслуживании горячих установок и резервуаров с ЛВЖ.

Каждый СИЗ должен быть:

* Проверен и одобрен **NIOSH** (Национальный институт охраны труда).
* Назначен по результатам **Job Hazard Analysis**.
* Обеспечен системой замены (для одноразовых), технического осмотра и замены фильтров (для респираторов).

#### **8.3. Обучение и подготовка персонала**

В США обучение работников по охране труда является **обязательной частью PSM** и RMP. Основные формы:

* Первичное и периодическое инструктажи.
* Тренинги по использованию СИЗ, средств пожаротушения и аварийной сигнализации.
* Проведение **учебных тревог** (Emergency Response Drills) с имитацией реальных аварийных сценариев.
* Программы по подготовке команд быстрого реагирования (ERT — Emergency Response Team).

Обучение фиксируется в электронных системах управления обучением (LMS) с контролем сроков и оценкой знаний.

#### **8.4. Поведенческая безопасность**

Многие предприятия в США внедряют подходы **Behavior-Based Safety (BBS)** — системы анализа и улучшения поведения сотрудников:

* Наблюдение за действиями рабочих на месте.
* Оценка соответствия безопасным практикам.
* Обратная связь, мотивация и поощрение безопасного поведения.
* Анализ «почти происшествий» (near misses).

#### **8.5. Социальная и психологическая защита**

Также учитываются:

* Психологическое состояние сотрудников (особенно после аварий).
* Уровень стресса, утомляемости и влияние на принятие решений.
* Возможность доступа к программам поддержки (EAP — Employee Assistance Program).

### ****9. Практические кейсы и уроки из инцидентов****

Изучение реальных аварий на потенциально опасных объектах (ПОО) — неотъемлемая часть стратегии управления рисками в США. Анализ происшествий позволяет выявить ошибки в проектировании, эксплуатации, культуре безопасности и служит основой для совершенствования нормативов, стандартов и практик. Ниже представлены наиболее значимые инциденты, которые повлияли на формирование современной системы промышленной безопасности.

#### **9.1. Взрыв на нефтехимическом заводе BP (Техас-Сити, 2005)**

* **Описание**: 23 марта 2005 года на установке изомеризации бензина в Техас-Сити (штат Техас) произошёл мощный взрыв, вызванный переполнением колонны и выбросом легковоспламеняющихся паров.
* **Последствия**: 15 человек погибло, более 180 получили ранения. Ущерб — более $1,5 млрд.
* **Выводы**:
  + Неэффективность систем управления изменениями (MOC).
  + Игнорирование сигналов переполнения.
  + Низкий уровень культуры безопасности.
  + Отсутствие барьеров (blast walls) и недостаточная подготовка персонала.

После инцидента были ужесточены требования OSHA к PSM и пересмотрены стандарты по временным рабочим местам на установках.

#### **9.2. Взрыв Deepwater Horizon (Мексиканский залив, 2010)**

* **Описание**: 20 апреля 2010 года на буровой платформе Deepwater Horizon произошёл выброс газа, который привёл к взрыву и пожару.
* **Последствия**: 11 человек погибло, 4,9 млн баррелей нефти попали в океан, крупнейшая экологическая катастрофа в истории США.
* **Причины**:
  + Отказ противовыбросового оборудования (BOP).
  + Пренебрежение данными давления.
  + Давление со стороны менеджмента на сокращение сроков бурения.
* **Выводы**:
  + Необходимость независимого аудита безопасности.
  + Внедрение системы двойного контроля критических решений.
  + Ужесточение стандартов морского бурения (BOEM и BSEE).

#### **9.3. Взрыв на заводе по производству удобрений (West Fertilizer, 2013)**

* **Описание**: 17 апреля 2013 года в городе Уэст (штат Техас) произошёл взрыв аммиачной селитры, находящейся на складе.
* **Последствия**: 15 погибших, более 250 ранений, разрушение 150 зданий.
* **Причины**:
  + Несоблюдение норм хранения окислителей.
  + Отсутствие системы пожаротушения.
  + Необновлённый план аварийного реагирования.
* **Выводы**:
  + Объекты хранения удобрений включены в список высокоопасных по версии DHS.
  + EPA и ATF инициировали более строгий контроль за хранением нитратов.
  + Рекомендовано ограничить жилую застройку вблизи складов с взрывчатыми веществами.

#### **9.4. Основные уроки из кейсов**

* Нельзя полагаться только на технологии — необходима культура безопасности и обучение.
* Системы мониторинга и оповещения должны быть многоканальными и независимыми.
* Управление изменениями (MOC) должно быть формализовано и подкреплено обучением.
* Коммуникация между операторами, инженерами и менеджерами должна быть прозрачной и документированной.
* Регулярный анализ «почти аварий» (near misses) — ключевой фактор профилактики.

### ****10. Выводы****

В США управление безопасностью потенциально опасных объектов (ПОО) достигло высокого уровня зрелости благодаря взаимодействию нормативной базы, инженерных методов анализа и культуры ответственности. Однако даже развитая система требует постоянного пересмотра и адаптации к новым вызовам — технологическим, экологическим, социальным и антропогенным.

#### **10.1. Основные выводы:**

1. **Комплексный подход**  
   Безопасность обеспечивается не только технологическими средствами, но и организационной структурой, обучением, поведенческими практиками, нормативным контролем и автоматизацией.
2. **Сбалансированное применение методов анализа**  
   Качественные методы (HAZID, HAZOP, What-if) эффективны на стадии проектирования и эксплуатации. Количественные методы (QRA, FERA, CFD) позволяют глубоко оценить последствия и определить приоритеты защиты.
3. **Сильная нормативная база**  
   Совокупность стандартов от OSHA, EPA, NFPA и GHS обеспечивает юридическую определённость, требования к документации и механизмы контроля за соответствием.
4. **Обязательная идентификация и маркировка опасностей**  
   Системы NFPA 704, HMIS и GHS дают чёткие и понятные сигналы об уровнях опасности веществ и зон, повышая безопасность и осведомлённость.
5. **Автоматизация и мониторинг**  
   Внедрение SCADA-систем, сенсоров, термокамер и программ моделирования (PHAST, FLACS, FDS) позволяет реагировать на угрозы до возникновения инцидента.
6. **Учёт человеческого фактора**  
   Ключевую роль играет персонал: его подготовка, поведение, стрессоустойчивость, способность к быстрому принятию решений. Поведенческая безопасность (BBS) и анализ near misses повышают общий уровень защиты.
7. **Извлечение уроков из инцидентов**  
   Изучение реальных аварий показывает, что большинство катастроф происходят из-за организационных просчётов и нарушения процедур. Открытые базы данных, такие как CSB, делают кейсы доступными для анализа.

### ****Список литературы****

**Официальные нормативные источники США:**

* 1. **OSHA (Occupational Safety and Health Administration)**
* 29 CFR 1910.119 – Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals:
* 29 CFR 1910.120 – HAZWOPER:

<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119>

* 1. **EPA (Environmental Protection Agency)**

Risk Management Plan (RMP) Rule — Clean Air Act Section 112(r): <https://www.epa.gov/rmp/risk-management-program-rmp-rule-overview>

* 1. **NFPA (National Fire Protection Association):** https://www.nfpa.org/
* NFPA 30 – Flammable and Combustible Liquids Code
* NFPA 68 – Explosion Protection by Deflagration Venting
* NFPA 70 – National Electrical Code (NEC)
* NFPA 704 – Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response
  1. **OSHA Hazard Communication Standard (HCS) / GHS:** https://www.osha.gov/hazcom
* 29 CFR 1910.1200 – Hazard Communication
* GHS – Globally Harmonized System

**Методологические и аналитические источники:**

1. **Center for Chemical Process Safety (CCPS):**

https://www.aiche.org/

* Guidelines for Hazard Evaluation Procedures
* Layer of Protection Analysis (LOPA)
* Essential Practices for Managing Chemical Reactivity Hazards

1. **AIChE – American Institute of Chemical Engineers:** https://www.aiche.org/

* Публикации по QRA, FMEA, HAZOP, BBS и др.

1. **CSB (U.S. Chemical Safety Board):**

https://www.csb.gov/

* Расследования аварий: BP Texas City, Deepwater Horizon, West Fertilizer и др.