

**В.Н. ПЕРМЯКОВ, Ю.В. СИВКОВ,
В.Л. МАРТЫНОВИЧ, Л.Б. ХАЙРУЛЛИНА**

**АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ
НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Учебное пособие



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Государственный аграрный университет Северного Зауралья

**В.Н. Пермяков, Ю.В. Сивков,
В.Л. Мартынович, Л.Б. Хайруллина**

**АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ
НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ
ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Учебное пособие

Текстовое (символьное) электронное издание

Редакционно-издательский отдел ГАУ Северного Зауралья

Тюмень 2022

© В.Н. Пермяков, Ю.В. Сивков, В.Л. Мартынович,
Л.Б. Хайруллина, 2022
© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022

ISBN 978-5-98346-095-9

Рецензенты:

профессор кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», доктор технических наук О.В. Ударцева;
начальник отдела надежности нефтегазопромысловых систем ООО «НОВАТЭК Научно-технический центр», кандидат технических наук П.Ю. Денисов

Электронное издание / учебное пособие / Анализ риска аварий на опасных производственных объектах хранения нефти и нефтепродуктов / В.Н. Пермяков, Ю.В. Сивков, В.Л. Мартынович, Л.Б. Хайруллина. – Тюмень: ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 120 с.

В учебном пособии излагаются основные положения по проведению анализа опасностей и оценке риска аварий на опасных производственных объектах хранения нефти и нефтепродуктов. Представлен теоретический материал, включающий цели, задачи анализа риска аварий, а также описание пошаговой последовательности проведения анализа опасностей и оценке риска аварий для опасных производственных объектах хранения нефти и нефтепродуктов. Для наилучшего усвоения теоретического материала в учебном пособии также приведены контрольные вопросы и практические задачи по проведению анализа опасностей и оценке риска аварий.

Учебное пособие предназначено для обучающихся в магистратуре по направлению 20.04.01 «Техносферная безопасность» по дисциплинам «Промышленная безопасность», «Управление рисками, системный анализ и моделирование», для обучающихся в бакалавриате по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» при написании курсовых и выпускных квалификационных работ, а также является полезным для аспирантов, слушателей при повышении квалификации в процессе изучения дисциплин в области промышленной безопасности. Учебное пособие может быть использовано обучающимися других направлений, изучающих вопросы обеспечения безопасности объектов нефтегазового комплекса.

Текстовое (символьное) электронное издание

© В.Н. Пермяков, Ю.В. Сивков, В.Л. Мартынович, Л.Б. Хайруллина, 2022

© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Основы анализа риска на опасных производственных объектах.....	7
1.1. Цель и задачи анализа риска аварий	7
1.2. Этапы проведения анализа риска аварий.....	10
1.2.1. Этап «Планирование и организация анализа риска аварий».....	10
1.2.2. Этап «Сбор сведений для описания анализируемого ОПО»	11
1.2.3. Этап «Идентификация опасностей аварий»	11
1.2.4. Этап «Оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях»	12
1.2.5. Этап «Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных составных частей ОПО»	13
1.2.6. Этап «Разработка (корректировка) мер по снижению риска аварий».....	15
2. АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ХРАНЕНИЯ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ	16
2.1. Планирование и организация анализа риска аварий	16
2.1.1. Определение анализируемого ОПО, его описание.....	16
2.1.2. Обоснование необходимости проведения анализа опасностей и оценки риска аварий.....	19
2.1.3. Анализ требований заказчика работ.....	20
2.1.4. Уточнение задач проводимого анализа риска аварий	20
2.1.5. Определение используемых методов анализа риска аварий	21
2.1.6. Определение значений фонового риска аварий и (или) допустимого риска аварий.....	21
2.1.7. Формирование рабочей группы для проведения анализа риска аварий ...	22
2.2. Сбор сведений для описания анализируемого ОПО	23
2.2.1. Идентификация ОПО	23
2.2.2. Сведения об инцидентах и авариях на данном и (или) аналогичных объектах.....	24
2.2.3. Характеристики района расположения объекта	26

2.2.4. Характеристики технических устройств, зданий и сооружений, применяемых на объекте	27
2.2.5. Сведения о проектном и фактическом распределении обращающихся опасных веществ.....	29
2.3. Идентификация опасностей аварий.....	34
2.3.1. Определение источников аварий и инцидентов	34
2.3.2. Определение основных составляющих ОПО	35
2.3.3. Определение основных (типовых) сценариев аварий	38
2.3.4. Оценка количества опасного вещества, участвующего в аварии	40
2.3.5. Оценка площади разлива опасного вещества	43
2.3.6. Оценка количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов	45
2.3.7. Оценка зон действия поражающих факторов при пожаре пролива.....	49
2.3.8. Оценка зон действия поражающих факторов при сгорании паровоздушного облака в открытом пространстве.....	53
2.4. Оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях.....	63
2.4.1. Оценка возможности возникновения и развития инцидентов и аварий ...	63
2.4.2. Оценка тяжести последствий и (или) ущербов от возможных инцидентов и аварий	69
2.4.2.1. Оценка количества пострадавших	69
2.4.2.2. Оценка ущерба от реализации возможных сценариев аварий	77
2.4.3. Оценка опасности аварий и связанных с ними угроз	85
2.5. Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных составных частей ОПО	95
2.5.1. Сравнение полученных значений риска с допустимыми значениями	95
2.5.2. Сравнение полученных значений риска со значениями риска аварий на других составных частях ОПО.....	96
2.5.3. Сравнение с фоновым риском аварий или фоновым риском гибели людей	99

2.5.4. Сравнение со значениями риска аварий, полученными с учетом фактических отступлений от требований промышленной безопасности	99
2.6. Реализация мер по снижению риска аварий.....	100
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	101
4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	107
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на предпринимаемые меры в области промышленной безопасности полностью исключить вероятность возникновения аварий на опасных производственных объектах (далее – ОПО) практически невозможно.

В большинстве случаев аварии вызываются нарушением технологии производства, правил эксплуатации оборудования, машин и механизмов, низкой трудовой и технологической дисциплиной, несоблюдением мер безопасности, отсутствием должного надзора за состоянием оборудования.

Установление степени аварийной опасности ОПО или его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз причинения вреда жизни, здоровью людей, вреда окружающей среде, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, угроз возникновения аварий и (или) чрезвычайных ситуаций техногенного характера для разработки, реализации и своевременной корректировки обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварий и размера ущерба, нанесенного в случае аварии, является актуальной задачей.

Данное учебное пособие направлено на углубление профессиональных знаний обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» в рамках освоения дисциплин «Промышленная безопасность», «Управление рисками, системный анализ и моделирование» обучающихся в бакалавриате по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» при написании курсовых и выпускных квалификационных работ, а также является полезным для аспирантов, слушателей при повышении квалификации в процессе изучения вопросов в области промышленной безопасности. Учебное пособие может быть использовано обучающимися других направлений, изучающих вопросы обеспечения безопасности объектов нефтегазового комплекса.

1. ОСНОВЫ АНАЛИЗА РИСКА НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Согласно [1] анализ опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах (далее – ОПО) представляют собой совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий, включающую планирование работ, идентификацию опасностей аварий, оценку риска аварий, установление степени опасности возможных аварий, а также разработку и своевременную корректировку мероприятий по снижению риска аварий.

Анализ риска аварий рекомендуется проводить при разработке:

- проектной документации на строительство или реконструкцию ОПО;
- документации на техническое перевооружение, капитальный ремонт, консервацию и ликвидацию ОПО;
- декларации промышленной безопасности ОПО;
- обоснования безопасности ОПО;
- плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО;
- плана мероприятий по снижению риска аварий и других документов в составе документационного обеспечения систем управления промышленной безопасностью.

1.1. Цель и задачи анализа риска аварий

Основная цель анализа риска аварий – установление степени аварийной опасности ОПО и (или) его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз причинения вреда жизни, здоровью людей, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, угроз возникновения аварий и (или) чрезвычайных

ситуаций техногенного характера, разработки, плановой реализации и своевременной корректировки обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварий и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО, а также мер, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности при обосновании безопасности ОПО.

На различных стадиях жизненного цикла ОПО основная цель анализа риска аварий достигается постановкой и решением соответствующих задач в зависимости от необходимой полноты анализа опасностей аварий, которая определяется требованиями разработки декларации промышленной безопасности, специальных технических условий, обоснования безопасности ОПО, отчета о количественной оценке риска аварий и иных документов, использующих результаты анализа риска аварий.

На стадии обоснования инвестиций, проектирования, подготовки технической документации или размещения ОПО рекомендуется решать следующие задачи анализа риска аварий:

а) проведение идентификации опасностей аварий и качественной и (или) количественной оценки риска аварий с учетом воздействия поражающих факторов аварий на персонал, население, имущество и окружающую среду;

б) обоснование оптимальных вариантов применения технических и технологических решений, размещения технических устройств, зданий и сооружений, составных частей и самого ОПО с учетом расположения близлежащих объектов производственной и транспортной инфраструктуры, особенностей окружающей местности, а также территориальных зон (охранных, санитарно-защитных, жилых, общественно-деловых, рекреационных);

в) использование сведений об опасностях аварий при разработке стандартов предприятий, инструкций, технологических регламентов и планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО;

г) определение степени опасности аварий для выбора наиболее безопасных проектных решений;

д) обоснование, корректировка и модернизация организационных и технических мер безопасности;

е) разработка обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий на ОПО и (или) его составных частях.

На стадиях ввода в эксплуатацию, консервации или ликвидации ОПО рекомендуется решать следующие задачи анализа риска аварий:

а) уточнение идентификации опасностей аварий с оценкой вероятности и возможных последствий аварий, актуализация полученных ранее качественных или количественных оценок риска аварий;

б) уточнение степени опасности аварий и оценка достаточности специальных мер по снижению риска аварий в переходный период.

На стадиях эксплуатации, реконструкции или технического перевооружения ОПО рекомендуется решать следующие задачи анализа риска аварий:

а) уточнение и актуализация данных об основных опасностях аварий, в том числе, сведений, представленных в декларации промышленной безопасности ОПО, сведений об оценке максимального возможного количества потерпевших для целей страхования ответственности; технических данных и организационной информации по обследованию технического состояния объекта;

б) определение и контроль частоты и периодичности диагностирования технических устройств, зданий и сооружений на ОПО, в том числе методами неразрушающего контроля;

в) проведение мониторинга степени аварийной опасности и оценки эффективности мер по снижению риска аварий на ОПО, в том числе для оценки эффективности систем управления промышленной безопасностью;

г) разработка рекомендаций по обеспечению безопасности и при необходимости корректировка мер по снижению риска аварий;

д) совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО.

1.2. Этапы проведения анализа риска аварий

При проведении анализа риска аварий рекомендуется последовательно выполнять следующие этапы:

- 1) планирование и организация работ по анализу риска аварий;
 - 2) сбор сведений для описания анализируемого ОПО;
 - 3) идентификация опасностей аварий;
 - 4) оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях;
 - 5) установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных (с учетом возможности возникновения и тяжести последствий аварий) составных частей ОПО;
- б) разработка (корректировки) мер по снижению риска аварий.

Состав и комплектность этапов рекомендуется уточнять в зависимости от конкретизации задач анализа риска аварий.

1.2.1. Этап «Планирование и организация анализа риска аварий»

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется:

- а) определить анализируемый ОПО (или его составную часть) и дать его общее описание, провести анализ требований нормативных и правовых документов в области анализа риска аварий применительно к рассматриваемому объекту;
- б) обосновать необходимость проведения анализа опасностей и оценки риска аварий в случае отсутствия нормативных требований в этой области;
- в) провести анализ требований заказчика работ (инвесторов, проектировщиков или других заинтересованных лиц);
- г) уточнить задачи проводимого анализа риска аварий с учетом причин, которые вызвали необходимость проведения таких работ (декларирование промышленной безопасности, обоснование безопасности ОПО, экспертиза

промышленной безопасности, обоснование проектных решений по обеспечению безопасности, применение новых технологий или материалов);

д) определить используемые методы анализа риска аварий, основные и дополнительные показатели риска, степень их детальности и ограничения;

е) проанализировать, выбрать и определить значения фоновых рисков аварий и (или) соответствующие критерии (достижения) допустимого риска аварий, и (или) иные обоснованные показатели безопасной эксплуатации ОПО;

ж) сформировать рабочую группу для проведения анализа риска аварий, оценить сроки и трудозатраты работ.

1.2.2. Этап «Сбор сведений для описания анализируемого ОПО»

Согласно п. 15 [1] на этапе сбора сведений для описания анализируемого ОПО и (или) его составной части рекомендуется собрать сведения:

а) об идентификации ОПО;

б) об инцидентах и авариях на данном и (или) аналогичных объектах;

в) о характеристиках района расположения объекта (природных, техногенных, антропогенных);

г) о характеристиках технических устройств, зданий и сооружений, применяемых на объекте;

д) о проектном и фактическом распределении обращающихся опасных веществ.

1.2.3. Этап «Идентификация опасностей аварий»

Согласно п. 16 [1] на этапе идентификации опасностей аварий рекомендуется:

а) определить источники возникновения возможных инцидентов и аварий, связанных с разрушением сооружений и (или) технических устройств на ОПО, неконтролируемыми выбросами и (или) взрывами опасных веществ;

б) провести разделение ОПО на составные части (составляющие ОПО) при необходимости проведения анализа риска аварий на них; выделить характерные причины возникновения аварий на ОПО или его составных частях;

в) определить основные (типовые) сценарии аварий с их предварительной оценкой и ранжированием с учетом последствий и вероятности, при этом рассмотреть инициирующие и последующие события, приводящие к возможному возникновению поражающих факторов аварий.

На этапе идентификации опасностей могут быть даны предварительные рекомендации по уменьшению опасностей аварий с оценкой их достаточности либо выводы о проведении более детального анализа опасностей и оценки риска аварий.

1.2.4. Этап «Оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях»

Согласно п. 17-21 [1] на этапе оценки риска аварий в зависимости от поставленных задач могут применяться методы количественной оценки риска аварий, являющиеся приоритетными, методы качественной оценки риска аварий или их возможные сочетания (полуколичественная оценка риска аварий).

Рекомендуется последовательно выполнить качественную и (или) количественную оценки:

- а) возможности возникновения и развития инцидентов и аварий;
- б) тяжести последствий и (или) ущербов от возможных инцидентов и аварий;
- в) опасности аварий и связанных с ними угроз в значениях показателей риска.

Для оценки частоты инициирующих и последующих событий в анализируемых сценариях аварий рекомендуется использовать:

а) статистические данные по аварийности, надежности технических устройств и технологических систем, соответствующие отраслевой специфике ОПО или виду производственной деятельности;

б) логико-графические методы «Анализ деревьев событий», «Анализ деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий на ОПО;

в) экспертные специальные знания в области аварийности и травматизма на ОПО в различных отраслях промышленности.

Оценка последствий и ущерба от возможных аварий включает описание и определение размеров возможных воздействий на людей, имущество и (или) окружающую среду. При этом оценивают физические эффекты аварийных событий (разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ), уточняют объекты, которые могут подвергнуться воздействиям поражающих факторов аварий, используют соответствующие модели аварийных процессов совместно с критериями поражения человека и групп людей, а также критерии разрушения технических устройств, зданий и сооружений.

Результаты оценки риска аварий могут содержать качественные и (или) количественные характеристики основных опасностей возникновения, развития и последствий аварий, при этом рекомендуется проводить анализ неопределенности и достоверности полученных результатов, в том числе влияния исходных данных на рассчитываемые показатели риска.

В необходимых случаях в зависимости от поставленных задач анализ риска аварий может исчерпываться только получением отдельных показателей риска на ОПО и (или) его составных частях.

1.2.5. Этап «Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных составных частей ОПО»

Согласно п. 22-25 [1] на этапе установления степени опасности аварий на ОПО, рекомендуется проводить сопоставительное сравнение значений полученных показателей опасностей и оценок риска аварий с:

а) допустимым риском аварий и (или) уровнем, обоснованным на этапе планирования и организации анализа риска аварий;

б) значениями риска аварий на других составных частях ОПО;

в) фоновым риском аварий для данного типа ОПО или аналогичных ОПО, с фоновым риском гибели людей в техногенных происшествиях;

г) значениями риска аварий, полученными с учетом фактических отступлений от требований промышленной безопасности, а также возможного и фактического внедрения компенсирующих мероприятий.

Необходимость и полнота сравнительных оценок определяются поставленными задачами анализа риска аварий. В качестве приоритетных рекомендуется использовать сравнительные сопоставления характерных для ОПО опасностей по показателям риска, которые необходимы для выявления наиболее аварийно-опасных составных частей на ОПО.

Для выявления наиболее опасных составных частей на ОПО проводится их ранжирование в порядке возрастания оцененных показателей опасности и рассчитанных значений риска аварий на них.

Основные рекомендуемые способы установления степени опасности аварий на ОПО и определения наиболее аварийно-опасных составных частей ОПО представлены в приложении №6 [1].

Установление степени опасности аварий на ОПО и определение наиболее опасных составных частей ОПО рекомендуется использовать для разработки обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий на ОПО, которые могут иметь организационный и (или) технический характер.

1.2.6. Этап «Разработка (корректировка) мер по снижению риска аварий»

Согласно п. 27-28 [1] на этапе разработки мер по снижению риска аварий рекомендуется в качестве первоочередных планировать и разрабатывать:

- обоснованные рекомендации по снижению риска аварий для наиболее опасных составных частей ОПО;
- способы предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий на ОПО.

Выбор рекомендаций по снижению риска аварий имеет следующие приоритеты:

а) меры, снижающие возможность возникновения аварий, включающие:

- уменьшение возможности возникновения инцидентов;
- уменьшение вероятности перерастания инцидента в аварию;

б) меры, снижающие тяжесть последствий возможных аварий, включающие:

- уменьшение вероятности эскалации аварий, когда последствия какой-либо аварии становятся непосредственной причиной аварии на соседних составных частях ОПО;

- уменьшение вероятности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий;

- ограничение возможности возрастания масштаба и интенсивности воздействия поражающих факторов аварий;

- уменьшение вероятности развития аварий по наиболее опасным сценариям возможной аварии;

- увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов аварий;

в) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

2. АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ХРАНЕНИЯ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Общие положения о порядке анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах представлены в Руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденном приказом Ростехнадзора №144 от 11 апреля 2016 года [1].

Порядок анализа риска аварий на объектах резервуарного парка хранения горючей жидкости (нефть, нефтепродукт и т.п.) представлен в Руководстве по безопасности «Методика анализа риска на опасных производственных объектах нефтегазодобычи», утвержденном приказом Ростехнадзора №317 от 17 августа 2015 года [2], Руководстве по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденном приказом Ростехнадзора №272 от 29 июня 2016 года [3], Руководстве по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов», утвержденном приказом Ростехнадзора №228 от 17 июня 2016 года [4].

Основные этапы проведения анализа риска аварий на опасном производственном объекте приведены в п. 13 [1], а также п. 1.2 настоящего пособия.

2.1. Планирование и организация анализа риска аварий

2.1.1. Определение анализируемого ОПО, его описание

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется определить анализируемый ОПО (или его составную

часть) и дать его общее описание, провести анализ требований нормативных и правовых документов в области анализа риска аварий применительно к рассматриваемому объекту.

Хранение нефти и нефтепродуктов преимущественно осуществляется в резервуарах вертикальных стальных, описание и основные характеристики которых приведены в ГОСТ 17032-2010 [5], ГОСТ 31685-2016 [6].

Правила промышленной безопасности для складов нефти и нефтепродуктов установлены Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 529 [7].

Основные требования по обеспечению пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов регламентированы СП 155.13130.2014 [8] и иными нормативно правовыми актами в области пожарной безопасности.

В качестве примера приведен анализ риска аварий на объектах резервуарного парка хранения товарной нефти, который расположен на территории Ямало-Ненецкого автономного округа на достаточном удалении от населенных пунктов, железных дорог, а также категоризованных автомобильных дорог.

Резервуарный парк состоит из двух резервуаров вертикальных стальных объемом $V=20000 \text{ м}^3$ каждый. Степень заполнения резервуара составляет 90%. Группа резервуаров расположена на обвалованной территории, площадь которой составляет $S=10000 \text{ м}^2$.

Перечень нормативно правовых актов, на основании которых проводится анализ риска аварий на объектах хранения нефти и нефтепродуктов и в котором приведены основные требования в области анализа риска аварий применительно к рассматриваемым объектам, представлен в п. 2 настоящего учебного пособия.

Общий вид резервуара вертикального стального приведен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Общий вид резервуара вертикального стального

Рекомендуемые [6] параметры резервуаров вертикальных стальных для хранения горючих жидкостей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Рекомендуемые параметры резервуаров для хранения горючих жидкостей

Номинальный объем, м ³	Основные параметры резервуаров, м			
	со стационарной крышей		с плавающей крышей	
	диаметр	высота	диаметр	высота
100	4,7	6	-	-
200	6,6	6	-	-
300	7,6	7,5	-	-
400	8,5	7,5	-	-
700	10,4	9	-	-
1000	10,4	12	12,3	9

Номинальный объем, м ³	Основные параметры резервуаров, м			
	со стационарной крышей		с плавающей крышей	
	диаметр	высота	диаметр	высота
2000	15,2	12	15,2	12
3000	19	12	19	12
5000	21	15	22,8	12
10000	28,5	18	28,5	18
10000	34,2	12	34,2	12
20000	40	18	40	18
30000	45,6	18	45,6	18
40000	56,9	18	56,9	18
50000	60,7	18	60,7	18
100000	95,4	18	95,4	18

Согласно п. 7.6 СП 155.13130.2014 [8] по периметру каждой группы наземных резервуаров необходимо предусматривать замкнутое земляное обвалование шириной поверху не менее 0,5 м или ограждающую стену из негорючих материалов, рассчитанные на гидростатическое давление разлившейся жидкости.

Свободный от застройки объем обвалованной территории, образуемый между внутренними откосами обвалования или ограждающими стенами, следует определять по расчетному объему разлившейся жидкости, равному номинальному объему наибольшего резервуара в группе или отдельно стоящего резервуара.

2.1.2. Обоснование необходимости проведения анализа опасностей и оценки риска аварий

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется обосновать необходимость проведения анализа опасностей и оценки риска аварий в случае отсутствия нормативных требований в этой области.

В рамках настоящего учебного пособия проведение анализа опасностей и оценки риска аварий продиктовано необходимостью получения навыков по

проведению анализа риска аварий на опасных производственных объектах студентами направлений «Техносферная безопасность», описанием пошаговой последовательности и основного содержания каждого из этапов проведения анализа риска.

2.1.3. Анализ требований заказчика работ

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется провести анализ требований заказчика работ (инвесторов, проектировщиков или других заинтересованных лиц).

В рамках настоящего учебного пособия установим следующие требования к анализу риска аварий:

- определить количественные значения индивидуального риска гибели обслуживающего персонала резервуарного парка хранения нефти и нефтепродуктов;

- оценить соответствие полученных количественных значений индивидуального риска гибели обслуживающего персонала с допустимыми значениями, а также показателями фоновго риска гибели персонала объектов нефтегазового комплекса;

- в случае несоответствия полученных количественных значений индивидуального риска гибели обслуживающего персонала допустимым значениям и (или) показателям фоновго риска гибели персонала объектов нефтегазового комплекса, предусмотреть компенсирующие мероприятия, направленные на снижение показателей риска гибели обслуживающего персонала.

2.1.4. Уточнение задач проводимого анализа риска аварий

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется уточнить задачи проводимого анализа риска аварий с

учетом причин, которые вызвали необходимость проведения таких работ (декларирование промышленной безопасности, обоснование безопасности ОПО, экспертиза промышленной безопасности, обоснование проектных решений по обеспечению безопасности, применение новых технологий или материалов).

Основной задачей проведения анализа риска в рамках настоящего учебного пособия является получение навыков по проведению анализа риска аварий на опасных производственных объектах студентами направлений «Техносферная безопасность», описанием пошаговой последовательности и основного содержания каждого из этапов проведения анализа риска.

2.1.5. Определение используемых методов анализа риска аварий

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется определить используемые методы анализа риска аварий, основные и дополнительные показатели риска, степень их детальности и ограничения.

В качестве основного метода анализа риска, в соответствии с рекомендациями [1] используется количественный метод, в качестве дополнительного (вспомогательного) – метод «Анализ дерева событий».

Основные показатели риска, определение которых будет рассмотрено в рамках настоящего учебного пособия: потенциальный (территориальный) риск, индивидуальный риск, коллективный риск, социальный риск, экономический риск, экологический риск.

2.1.6. Определение значений фонового риска аварий и (или) допустимого риска аварий

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется проанализировать, выбрать и определить значения фоновых рисков аварий и (или) соответствующие критерии (достижения)

допустимого риска аварий, и (или) иные обоснованные показатели безопасной эксплуатации ОПО.

Допустимые нормативно установленные значения индивидуального и социального рисков представлены в ст. 93 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [9], а также Руководстве по оценке пожарного риска для промышленных объектов [10].

Значения фоновых рисков гибели в отраслях нефтегазового комплекса приведены на сайте Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (www.gosnadzor.ru) и составляют:

2018 год – $8,2 \times 10^{-5}$ год⁻¹;

2019 год – $7,8 \times 10^{-5}$ год⁻¹.

2.1.7. Формирование рабочей группы для проведения анализа риска аварий

Согласно п. 14 [1] на этапе планирования и организации анализа риска аварий рекомендуется сформировать рабочую группу для проведения анализа риска аварий, оценить сроки и трудозатраты работ.

В зависимости от задач, которые планируется решить с помощью инструментов анализа риска аварий к работе могут быть привлечены: проектировщики, технологи, механики, специалисты автоматизированных систем управления технологическими процессами и КИПиА, специалисты по промышленной и пожарной безопасности, представители заказчика и эксплуатирующей организации, а также специалисты (эксперты) экспертных организаций, аттестованные в соответствующей области.

Сроки и трудозатраты определяются сложностью объекта анализа, а также перечнем задач и требований, поставленных заказчиком работ.

2.2. Сбор сведений для описания анализируемого ОПО

2.2.1. Идентификация ОПО

Идентификация опасных производственных объектов осуществляется в соответствии с положениями Требований к регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведению государственного реестра опасных производственных объектов, утвержденных приказом Ростехнадзора от 30 ноября 2020 года №471 [11].

Согласно приложению № 1 к Требованиям [11] рассматриваемый опасный производственный объект идентифицирован как «Парк резервуарный магистрального нефтепровода».

Основными признаками опасности для идентифицируемого опасного производственного объекта являются:

2.1 – получение, использование, переработка, образование, хранение, транспортирование, уничтожение опасных веществ в количествах, указанных в приложении 2 к Федеральному закону от 21 июня 1997 года №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

2.2 – использование оборудования, работающего под избыточным давлением более 0,07 МПа: а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии); б) воды при температуре нагрева более плюс 115°С; в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 МПа.

Опасный производственный объект «Парк резервуарный магистрального нефтепровода» идентифицируется по признаку хранения и транспортирования опасного вещества – горючей жидкости.

2.2.2. Сведения об инцидентах и авариях на данном и (или) аналогичных объектах

В качестве источников информации об авариях и инцидентах, имевших место на других аналогичных объектах, а также об авариях и инцидентах, связанных с обращающимися опасными веществами, могут быть использованы следующие источники:

- Периодическое издание «Безопасность труда в промышленности».
- Ежегодные государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
- Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте. Учебное пособие. Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка [12].
- Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе России. Учебное пособие. Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка [13].
- Красных Б.А., Мартынюк В.Ф., Сергиенко Т.С., Сорокин А.А., Феоктистов А.А., Нечаев А.С. Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора. Учебное пособие [14].
- Аварии и несчастные случаи в нефтяной и газовой промышленности России. Под ред. Ю.А. Даданова, В.Я. Кершенбаума [15].
- Официальный сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (www.gosnadzor.ru).
- Официальный сайт Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (www.mchs.gov.ru).
- Официальный сайт информационно-аналитического центра «Экспертиза промышленной безопасности» (www.safeprom.ru).
- Сайт «Анализ опасностей и оценка техногенного риска» (riskprom.ru).

Ниже приведены примеры описания аварий, имевших место на аналогичных объектах хранения нефти. В качестве источника сведений

использован официальный сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (www.gosnadzor.ru).

2 сентября 2003 года Александровская нефтеперекачивающая станция. Прямое попадание молнии в резервуар. При взрыве от разряда молнии оторвалась кровля от стенки резервуара с выливом нефти в обвалование. Причина – отказ молниезащиты. Вследствие оперативных мер по тушению пожара очаг возгорания ограничился только резервуаром.

21 февраля 2007 года в ОАО «Самаранефтегаз» на участке перекачки нефти (товарный парк «Серные воды», ЦДНГ №1) в резервуаре РВС №3 ($V=5000$ м³) произошел хлопок с последующим возгоранием товарной нефти. Объем находившейся в резервуаре нефти составлял 950 м³. Во время пожара разрушилась крыша РВС. Пожар ликвидирован с помощью подачи пены в РВС. Пострадавших нет.

22 августа 2009 года в 19:05 на линейной производственно-диспетчерской станции «Конда», принадлежащей ОАО «Сибнефтепровод» (ныне – АО «Транснефть-Сибирь»), произошло возгорание резервуара с нефтью. В загоревшемся резервуаре произошел взрыв, в результате загорелись еще два резервуара, а позже и третий резервуар. Предварительная причина: удар молнии. Пожар общей площадью 1800 м² был ликвидирован. В итоге пожара три РВС-20000 (№5, 7, 8) были разрушены. В результате аварии погибли 4 прибывших на тушение пожара сотрудников МЧС России. Общий ущерб от аварии составил 145 миллионов рублей.

Анализ вышеприведенных описаний аварий, а также описаний аварий, приведенных в иных источниках, позволил определить основные сценарии аварий, которые характерны для рассматриваемого технологического оборудования и рассматриваемого обращающегося опасного вещества (нефти).

2.2.3. Характеристики района расположения объекта

В качестве характеристик района расположения объекта приводятся сведения об территориально-административном расположении, а также сведения о природно-климатических условиях района и площадки строительства.

Сведения о природно-климатических условиях района и площадки строительства, как правило, включают:

- характеристику рельефа местности (например, ровный, холмистый, пересеченный, горный) с упоминанием наличия балок, оврагов, возвышенностей, естественных и искусственных подземных полостей, горных выработок;

- статистические данные многолетних наблюдений в районе расположения объекта температуры воздуха (по месяцам, среднегодовая и абсолютные максимальная и минимальная), скорости и направления ветра (среднегодовые по 8 румбам);

- сведения о сейсмичности площадки строительства и наличии других опасных природных процессов и явлений, отнесенных согласно СП 115.13330.2016, к категориям «весьма опасные» и «чрезвычайно опасные» (катастрофические);

- данные о находящихся вблизи объекта водных объектах.

В качестве примера, в данном учебном пособии, рассматривается площадка резервуарного парка хранения нефти, которая расположена на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

Климат данного района резко континентальный. Зима суровая, холодная и продолжительная. Лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны – осень и весна. Наблюдаются поздние весенние и ранние осенние заморозки, резкие колебания температуры в течение года и даже суток.

Среднегодовая температура воздуха составляет минус 6,0°С. Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца – января минус 25,2°С, а самого жаркого – июля плюс 16,4°С.

Абсолютный минимум температуры воздуха приходится на февраль минус 55°С, абсолютный максимум – на июнь-июль – плюс 36°С. Продолжительность безморозного периода 87 дней.

Осадков в районе расположения объекта выпадает много, особенно в теплый период с апреля по октябрь (375 мм), за холодный период с ноября по март выпадает 123 мм при годовой сумме осадков 498 мм. Суточный максимум осадков 86 мм. Соответственно, держится высокая влажность воздуха, средняя относительная влажность в течение года изменяется от 68% до 83%. Средняя месячная относительная влажность наиболее теплого периода – 69%, а наиболее холодного периода – 79%.

Снежный покров образуется во второй половине октября, разрушение его происходит во второй половине мая. Снежный покров сохраняется 224 дня.

В течение года преобладают ветры северного и юго-западного направлений. В январе – юго-западного, а в июле – северного направления. Среднегодовая скорость ветра – 2,9 м/с, средняя за январь – 2,7 м/с и средняя в июле – 3,0 м/с. Наибольшая скорость ветра 5% обеспеченности 27 м/с.

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки 92% обеспеченности составляет минус 47°С. С мая по октябрь наблюдаются гололедно-изморозевые явления. В среднем за год наблюдаются 38 дней с изморозью, 2 дня с гололедом.

2.2.4. Характеристики технических устройств, зданий и сооружений, применяемых на объекте

Для основного технологического оборудования, в котором обращаются опасные вещества осуществляется указание номера позиции оборудования на технологической схеме, наименование, количество единиц, назначение (в соответствии с описанием технологии) и технические характеристики (для

емкостного оборудования – габариты, объем, вместимость; для теплообменного оборудования – площадь теплообмена, объем и вместимость трубного и межтрубного пространства, производительность; для насосов и компрессоров – производительность; для трубопроводов – общая длина, количество и длина участков между запорной арматурой, диаметр и производительность).

Для примера, в качестве резервуаров хранения нефти, приняты вертикальные резервуары со стационарной крышей (далее – РВС) объемом $V=10000 \text{ м}^3$ каждый. Количество резервуаров – 2 шт. Диаметр резервуара – 34,2 м, высота – 12 м. Максимальный уровень налива составляет 90%.

Примерная схема расположения группы резервуаров на обвалованной территории приведена на рисунке 2.2.

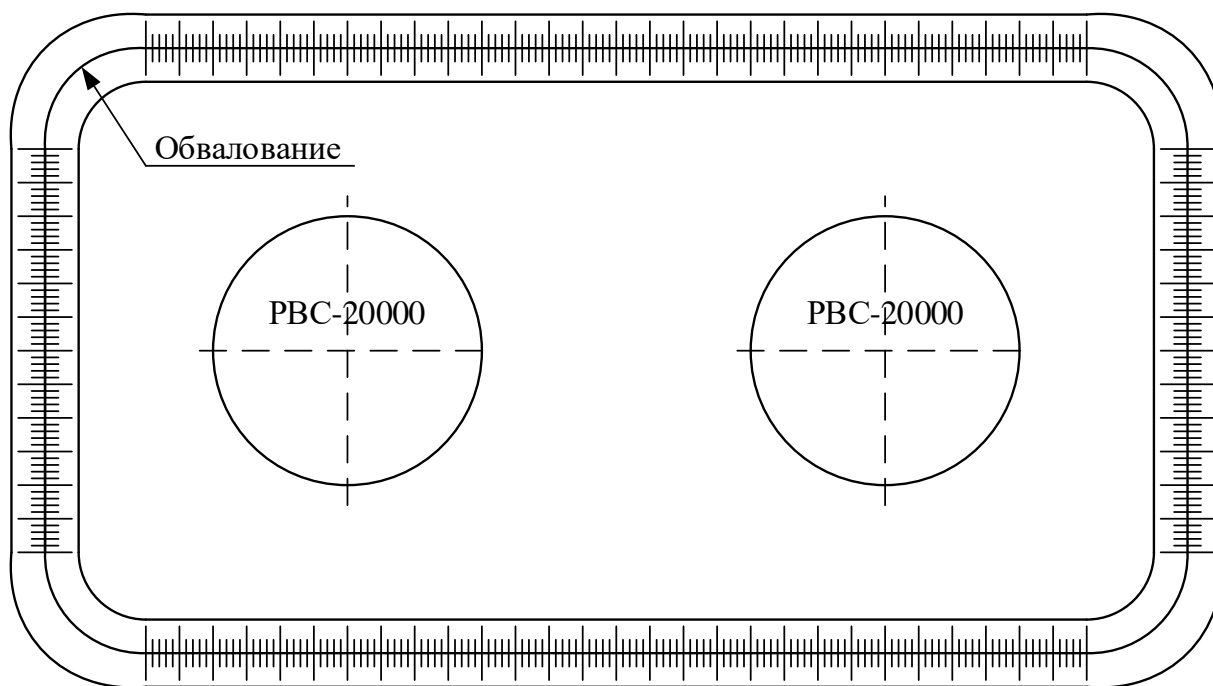


Рисунок 2.2 – Примерная схема расположения группы резервуаров на обвалованной территории

Резервуары оснащены приемными и раздаточными патрубками, непримерзающими дыхательными и предохранительными клапанами с установкой огнепреградителя, с диском-отражателем, замерными люками,

устройствами дистанционного контроля за уровнем и температурой, стационарным ручным пробоотборником. Диск-отражатель препятствует распространению струи входящего в резервуар воздуха вглубь газового пространства, изменяя ее направление с вертикального на горизонтальное. Вследствие этого наиболее насыщенные слои газового пространства, находящиеся у поверхности продукта, не перемешиваются входящей струей воздуха, а это, в свою очередь, уменьшает концентрацию паров продукта в паровоздушной смеси, вытесняемой в атмосферу при заполнении резервуара, т.е. уменьшает потери от «больших дыханий».

Резервуары имеют внутреннее и наружное антикоррозионное покрытие, тепловую изоляцию для сохранения температуры нефти.

2.2.5. Сведения о проектном и фактическом распределении обращающихся опасных веществ

Сведения об обращающихся опасных веществах

Основным опасным веществом, обращающемся на рассматриваемом опасном производственном объекте, является товарная нефть.

В качестве источников сведений о свойствах опасных веществах, находящихся в обращении на опасном производственном объекте, могут быть использованы [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Основные характеристики обращающегося опасного вещества – нефти, хранящегося в резервуарах, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные характеристики опасного вещества – нефти

Наименование параметра	Параметр
1. Название вещества:	Нефть
а) химическое	углеводороды
б) торговое	нефть
2. Вид	Горючая жидкость

Наименование параметра	Параметр
3. Химическая формула:	
а) эмпирическая	C_nH_{2n+2} – предельные у/в, C_nH_{2n} – нафтенy
4. Физические свойства:	
а) молекулярный вес, г/моль	188...379
б) температура начала кипения при P=101,325 кПа, °C	100...300
в) плотность при t=20°C, P=101,325 кПа, кг/м ³	830
5. Данные о взрывопожароопасности:	
а) температура вспышки в закрытом тигле, °C	минус 1
б) температура самовоспламенения, °C	+223...+375
в) пределы взрываемости в смеси с воздухом, %	1,2-8,0
6. Данные о токсической опасности:	
а) класс опасности	3
б) ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	10
в) ПДК в атмосферном воздухе, мг/м ³	50 (углеводороды C ₁ -C ₅)
7. Реакционная способность	В воде практически нерастворима
8. Запах	Специфический
9. Коррозионное воздействие	Присутствует
10. Меры предосторожности	<p>Должна быть предусмотрена вентиляция производственных помещений, сигнализация превышения ПДК углеводородов, индивидуальные средства защиты.</p> <p>Искусственное освещение выполняется во взрывозащищенном исполнении.</p> <p>При разливе на открытой площадке – место разлива засыпать песком с последующим его удалением.</p> <p>Соблюдение требований пожарной безопасности. Не допускается пользоваться инструментами, дающими при ударах искру.</p>
11. Информация о воздействии на людей	Углеводороды, входящие в состав нефтяных газов (метан и его ближайшие гомологи) могут оказывать сравнительно слабое наркотическое

Наименование параметра	Параметр
	<p>действие. Значительно сильнее действуют пары менее летучих (жидких) составных нефти. Нефти, содержащие мало ароматических углеводородов, действуют так же, как и смеси метановых и нафтеновых углеводородов – их пары вызывают наркоз и судороги. Высокое содержание ароматических соединений может угрожать хроническими отравлениями с изменением состава крови и кроветворных органов. Сернистые соединения могут приводить к острым и хроническим отравлениям, главную роль при этом играет сероводород. Воздействие паров нефти на кожные покровы может приводить к раздражениям, возникновению сухости, шелушению кожи, появлению трещин. Многие химические соединения, содержащиеся в нефти, могут оказывать канцерогенное действие.</p>
<p>12. Средства защиты органов дыхания</p>	<p>При работе с высокими концентрациями (зачистка цистерн, баков и т.д.) – шланговые противогазы с принудительной подачей воздуха (ПШ-1, ПШ-2, ДПА-5 и др.), при меньших концентрациях углеводородов в воздухе – фильтрующий промышленный противогаз марки А. Для смывания нефти с кожных покровов – сульфированное касторовое масло. Защитные мази и пасты ХИОТ-6, ПМ-1, ИЭР-1, ИЭР-2. Спецодежда, спецобувь, ее стирка и очистка.</p>
<p>13. Методы перевода веществ в безвредное состояние</p>	<p>Вентиляция помещения с целью уменьшения концентрации паров углеводородов в воздухе создание водных завес и преград. Средства тушения – пены на основе фторированных пенообразователей.</p>
<p>14. Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества</p>	<p>Освободить от стесняющей одежды, обеспечить покой, тепло. Крепкий сладкий чай, настойка валерианы или пустырника, ингаляция увлажненным кислородом, промывание глаз 2% раствором соды. При потере сознания – вдыхание нашатырного спирта. В тяжелых случаях при резком ослаблении или остановке дыхания немедленно начать искусственное дыхание (продолжать беспрерывно до восстановления самостоятельного дыхания или</p>

Наименование параметра	Параметр
	появления трупных пятен). Обложить грелками, остерегаться от простуды. Срочная госпитализация. Применение адреналина и адреналиноподобных препаратов противопоказано.

Сведения о количестве опасного вещества, обращающегося в оборудовании

При описании сведений о распределении опасных веществ по оборудованию, как правило, указывают наименование технологического блока, наименования оборудования, номер на технологической схеме (при наличии), количество единиц или участков трубопровода, количество опасного вещества в единице оборудования (на участке трубопровода) и в технологическом блоке (трубопроводе), физические условия содержания опасного вещества (агрегатное состояние, давление, температура).

Согласно исходным данным степень заполнения каждого из двух резервуаров вертикальных стальных $V=20000 \text{ м}^3$ составляет 90%, плотность нефти $\rho=830 \text{ кг/м}^3$.

Максимальное количество опасного вещества – нефти, обращающегося в каждом резервуаре вертикальном стальном составит:

$$Q = 0,9 \cdot 20000 \cdot 830 = 14940000 \text{ кг (14940 т)}$$

Рекомендуемая форма предоставления сведений о распределении опасных веществ по оборудованию приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сведения о распределении опасных веществ по оборудованию

Технологический блок, оборудование			Количество опасного вещества, т		Физические условия содержания опасного вещества		
наименование блока	наименование оборудования, № по схеме, опасное вещество	количество единиц оборудования	в единице оборудования	в блоке	агрегатное состояние	давление, МПа	температура, °С
<i>Составляющая «Парк резервуарный магистрального нефтепровода»</i>							
Парк резервуарный магистрального нефтепровода	Резервуар хранения нефти РВС-20000, нефть	2 шт.	14940	29880	жидкость	атм.	+10

2.3. Идентификация опасностей аварий

2.3.1. Определение источников аварий и инцидентов

Согласно п. 16 [1] на этапе идентификации опасностей необходимо определить источники возникновения возможных инцидентов и аварий, связанных с разрушением сооружений и (или) технических устройств на ОПО, неконтролируемыми выбросами и (или) взрывами опасных веществ.

Определения терминов «Авария» и «Инцидент» приведены в пункте «Термины и определения» настоящего учебного пособия, а также в приложении № 1 Руководства по безопасности [1].

Руководством по безопасности «Методические рекомендации по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса» [24] определена классификация уровней техногенных событий в области промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса.

Так, например, согласно приложению № 9 [24] превышение величины верхнего аварийного (максимального разрешенного проектом) уровня в резервуаре, контролируемый выброс нефти или нефтепродукта объемом 1 т в обвалование без последующего возгорания относится к инциденту (техногенному событию 2-го уровня), а выброс нефти или нефтепродукта с последующим возгоранием в результате разгерметизации оборудования объекта – аварии (техногенному событию 1-го уровня).

Основными источниками возникновения возможных инцидентов и аварий, связанными с разрушением сооружений и (или) технических устройств на ОПО, неконтролируемыми выбросами и (или) взрывами опасных веществ на опасном производственном объекте «Парк резервуарный магистрального нефтепровода» являются резервуары хранения горючего опасного вещества, так как их разгерметизация (разрушение) и выброс значительного количества опасного

вещества непременно приведут к возникновению неблагоприятного техногенного события (аварии или инциденту).

Рассмотрению именно этих источников возникновения возможных инцидентов и аварий посвящено настоящее учебное пособие.

Однако, в качестве источников возникновения возможных инцидентов и аварий, связанными с разрушением сооружений и (или) технических устройств на ОПО, неконтролируемыми выбросами и (или) взрывами опасных веществ на опасном производственном объекте «Парк резервуарный магистрального нефтепровода» также могут служить: насосы, технологические трубопроводы, запорная арматура, дренажные емкости и т.д., которые также входят в состав рассматриваемого ОПО.

В зависимости от поставленных задач анализа риска аварий в качестве источников возникновения возможных инцидентов и аварий могут быть рассмотрены сценарии неблагоприятных техногенных событий, связанных с разгерметизацией (разрушением) вышеуказанных технических устройств.

2.3.2. Определение основных составляющих ОПО

Согласно п. 16 [1] на этапе идентификации опасностей необходимо:

- провести разделение ОПО на составные части (составляющие ОПО) при необходимости проведения анализа риска аварий на них;
- выделить характерные причины возникновения аварий на ОПО или его составных частях.

Определение термина «Составные части (составляющие) ОПО» приведены в пункте «Термины и определения» настоящего учебного пособия, а также в приложении № 1 Руководства по безопасности [1].

Ранее, на этапе «Сбор сведений для описания анализируемого ОПО», рассматриваемый опасный производственный объект был идентифицирован как «Парк резервуарный магистрального нефтепровода».

Рассматриваемый опасный производственный объект «Парк резервуарный магистрального нефтепровода», помимо «основных» технических устройств – резервуаров хранения включает в себя также: насосную, технологические трубопроводы, запорную арматуру, дренажную емкость и т.д., которые можно рассматривать как составные части (составляющие) ОПО, в которых также обращается или может обращаться опасное вещество и разрушение которых может привести к аварии на ОПО.

В зависимости от поставленных задач анализа риска аварий могут быть рассмотрены сценарии аварий с разгерметизацией (разрушением) всех составных частей (составляющих) ОПО или только тех, которые оказывают наибольшее влияние на количественные показатели риска аварий на рассматриваемом ОПО.

Основной целью настоящего пособия является описание последовательности и содержания мероприятий, которые осуществляются, в частности, при разгерметизации (разрушении) резервуара хранения стабильной горючей жидкости, как наиболее значимой, с точки зрения анализа риска аварий, составной части (составляющей) рассматриваемого ОПО.

Анализ риска аварий для иных составляющих (составных частях) опасного производственного объекта «Парк резервуарный магистрального нефтепровода» в настоящем учебном пособии не рассматривается.

Характерные причины возникновения аварий на ОПО или его составных частях (составляющих) можно условно объединить в следующие взаимосвязанные группы:

- 1) отказы (неполадки) оборудования;
- 2) ошибочные действия персонала;
- 3) внешние воздействия природного и техногенного характера.

Причины, связанные с отказами (неполадками) оборудования

К основным причинам, связанным с отказами (неполадками) оборудования, относятся:

- прекращение подачи энергоресурсов;

- коррозия оборудования и трубопроводов;
- физический износ, механическое повреждение или температурная деформация оборудования и трубопроводов;
- причины, связанные с типовыми процессами.

Причины, связанные с ошибочными действиями персонала

При недостаточно высоком уровне автоматизации технологического процесса от обслуживающего персонала требуется высокая квалификация и повышенное внимание.

Особую опасность представляют ошибки при пуске и остановке оборудования, ведении ремонтных, профилактических и других работ, связанных с неустойчивыми переходными режимами, с освобождением и заполнением оборудования опасными веществами.

В случае неправильных действий персонала существует возможность разгерметизации системы и возникновения крупномасштабной аварии.

Причины, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера

К внешним воздействиям природного и техногенного характера можно отнести:

- грозовые разряды и разряды от статического электричества;
- смерч, ураган, лесные пожары;
- снежные заносы и понижение температуры воздуха;
- подвижка, просадка, пучение грунтов;
- опасности, связанные с опасными промышленными объектами, расположенными в районе объекта;
- опасности, связанные с перевозкой опасных грузов в районе расположения объекта;
- специально спланированная диверсия.

2.3.3. Определение основных (типовых) сценариев аварий

Согласно п. 16 [1] на этапе идентификации опасностей также необходимо определить основные (типовые) сценарии аварий с их предварительной оценкой и ранжированием с учетом последствий и вероятности, при этом рассмотреть инициирующие и последующие события, приводящие к возможному возникновению поражающих факторов аварий.

Описание возможных основных (типовых) сценариев аварий для рассматриваемых технологического оборудования и обращающегося опасного вещества приведено, например, в п. 41 [4], а также в таблице 7.8 [25].

Для удобства работы с отчетом по анализу риска сценариям аварий с горючими жидкостями рекомендуется присвоить следующие буквенно-цифровые коды: ЖС1.1, ЖС1.2, ЖС2.1, ЖС2.2, ЖС1.3, ЖС2.3.

«ЖС» в буквенной части кода сценария аварии означает «жидкость стабильная» – особенность обращающегося взрывопожароопасного вещества.

Первая цифра цифровой части кода обозначает степень разгерметизации технологического оборудования: 1 – частичная разгерметизация, 2 – полная разгерметизация.

Вторая цифра цифровой части кода обозначает возможное условное развитие сценария аварии: 1 – утечка горючей жидкости без воспламенения; 2 – пожар разлива; 3 – взрыв паровоздушной смеси.

Ниже приведены упрощенные описания для каждого из возможных сценариев аварий для рассматриваемого технологического оборудования и обращающегося взрывопожароопасного вещества.

Сценарий ЖС1.1 «Утечка горючей жидкости без воспламенения»:

Частичная разгерметизация резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → рассеивание паров жидкости без воспламенения.

Сценарий ЖС2.1 «Утечка горючей жидкости без воспламенения»:

Полное разрушение резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → рассеивание паров жидкости без воспламенения.

Сценарий ЖС1.2 «Пожар разлития»:

Частичная разгерметизация резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → воспламенение паров горючей жидкости от горячей поверхности или открытого источника огня → отказ системы пожаротушения или безуспешная отработка системы пожаротушения возникновение и развитие пожара пролива с перерастанием в пожар колонного типа → термическое воздействие пожара на смежное оборудование, сооружения, здания площадочного объекта, а также на персонал объекта → разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на объекте, гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести.

Сценарий ЖС2.2 «Пожар разлития»:

Полное разрушение резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → воспламенение паров горючей жидкости от горячей поверхности или открытого источника огня → отказ системы пожаротушения или безуспешная отработка системы пожаротушения возникновение и развитие пожара пролива с перерастанием в пожар колонного типа → термическое воздействие пожара на смежное оборудование, сооружения, здания площадочного объекта, а также на персонал объекта → разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на объекте, гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести.

Сценарий ЖС1.3 «Взрыв паровоздушной смеси»:

Частичная разгерметизация резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → образование взрывоопасного паровоздушного облака (смеси) → взрыв паровоздушного облака (смеси) от горячей поверхности или открытого источника огня с образованием ударной волны → барическое воздействие ударной волны на смежное оборудование, сооружения, здания площадочного объекта, а также на персонал объекта → разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на объекте, гибель или получение людьми травм различной степени тяжести.

Сценарий ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси»:

Полное разрушение резервуара с горючей термодинамически стабильной жидкостью → утечка горючей жидкости → образование лужи (пролива) горючей жидкости → испарение горючей жидкости → образование взрывоопасного паровоздушного облака (смеси) → взрыв паровоздушного облака (смеси) от горячей поверхности или открытого источника огня с образованием ударной волны → барическое воздействие ударной волны на смежное оборудование, сооружения, здания площадочного объекта, а также на персонал объекта → разрушение или повреждение оборудования, зданий и сооружений на объекте, гибель или получение людьми травм различной степени тяжести.

2.3.4. Оценка количества опасного вещества, участвующего в аварии

В соответствии с рекомендациями п. 2 приложения № 3 [26] при расчете количества опасного вещества, участвующего в аварии при разгерметизации (разрушении) резервуара вертикального стального принимаются следующие допущения:

- истечение через дефектное отверстие однофазное;

- резервуар имеет постоянную площадь сечения по высоте;
- диаметр резервуара много больше размеров отверстия;
- размеры отверстия много больше толщины стенки;
- поверхность жидкости внутри резервуара горизонтальна;
- температура жидкости остается постоянной в течение времени истечения;
- время истечения при частичной разгерметизации 1 час.

Массовый расход жидкости G (кг/с) через дефектное отверстие во времени t (с) определяется по формуле П.3.1 [26]:

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho \cdot g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2}{A_R} \cdot t \quad (2.1)$$

где G_0 – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле П.3.2 [26]:

$$G_0 = \mu \cdot \rho \cdot A_{hol} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - h_{hol})} \quad (2.2)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²);

μ – коэффициент истечения (принимается равным 0,6);

A_{hol} – площадь отверстия, м²;

h_{hol} – высота расположения отверстия, м;

A_R – площадь сечения резервуара, м²;

h_0 – начальная высота столба жидкости в резервуаре, м.

Высота столба жидкости в резервуаре h (м) в зависимости от времени t определяется по формуле П.3.3 [26]:

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{\rho \cdot A_R} \cdot t + \frac{g \cdot \mu^2 \cdot A_{hol}^2 \cdot t^2}{2 \cdot A_R^2} \quad (2.3)$$

При полном разрушении резервуара хранения количество опасного вещества, участвующего в аварии, принимается равным максимальному количеству опасного вещества, которое обращается в рассматриваемом технологическом оборудовании.

Пример расчета количества опасного вещества, участвующего в аварии

В качестве примера приведен расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии при частичной разгерметизации и полном разрушении резервуара вертикального стального со стационарной крышей объемом $V=20000$ м³, диаметром $D=40$ м, высотой $H=18$ м. Степень заполнения резервуара составляет 90%. Плотность обращающегося жидкого опасного вещества – нефти составляет $\rho=830$ м³. Условный диаметр дефектного отверстия – 0,01 м (площадь дефектного отверстия $A_{\text{нол}}=0,000785$ м²), при этом дефектное отверстие располагается в самой нижней точке резервуара, в районе сварного шва соединения стенки резервуара с его дном ($h_{\text{нол}}=0$ м).

Начальная высота столба жидкости в резервуаре h_0 с учетом степени заполнения резервуара составит:

$$h_0 = \frac{0,9 \cdot V}{A_R} = \frac{0,9 \cdot 20000}{1256} = 14,331 \text{ м}$$

где $A_R=1256$ м² – площадь сечения резервуара диаметром 40 м.

Массовый расход в начальный момент времени (момент разгерметизации) составит:

$$G_0 = 0,6 \cdot 830 \cdot 0,000785 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (14,331 - 0)} = 0,656 \text{ кг/с}$$

По формуле (2.3) определим высоту столба жидкости, которая стала в резервуаре, спустя 1 секунду после начала истечения:

$$h(1) = 14,331 - \frac{0,656}{830 \cdot 1256} \cdot 1 + \frac{9,81 \cdot 0,6^2 \cdot 0,0000785^2 \cdot 1^2}{2 \cdot 1256^2} = 14,331 \text{ м}$$

Подставив значение высоты столба жидкости, которая стала в резервуаре, спустя 1 секунду после начала истечения, в формулу для определения массового расхода в начальный момент времени, определим расход жидкости из резервуара на начало 2-ой секунды истечения.

Повторяя итерации с ежесекундным изменением столба жидкости в резервуаре и изменением начального расхода жидкости из дефектного отверстия для каждой последующей секунды в конечном итоге определим количество опасного вещества, которое вытекло за 1 час (3600 с) после начала аварии.

Для заданных условий количество опасного вещества, участвующего в аварии при частичной разгерметизации резервуара, составит $M_1=2,36$ т.

Количество опасного вещества, участвующего в аварии при полном разрушении резервуара, составит $M_2=14940$ т (см. табл. 2.3).

2.3.5. Оценка площади разлития опасного вещества

Площадь разлития горючей жидкости на грунтовое, бетонное или асфальтированное покрытие определяется по формуле П.3.27 [26]:

$$F_{\text{пр}} = f_p \cdot V_{\text{ж}} \quad (2.4)$$

где $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м^3 ;

f_p – коэффициент разлития, м^{-1} .

При отсутствии данных коэффициент разлития f_p допускается принимать равным:

5 м^{-1} – при проливе на неспланированную грунтовую поверхность;

20 м^{-1} – при проливе на спланированное грунтовое покрытие;

150 м⁻¹ – при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие.

Пример определения площади разлива опасного вещества

В качестве примера приведен расчет площади разлива для количества опасного вещества, участвующего в аварии при частичной разгерметизации и полном разрушении резервуара вертикального стального со стационарной крышей объемом V=20000 м³, которые были определены ранее (см. п. 2.3.4).

При разгерметизации резервуара истечение опасного вещества происходит на спланированное грунтовое покрытие в пределах обвалования, площадь которого составляет 10000 м² (см. п. 2.1.1).

С учетом принятой плотности опасного вещества ρ=830 кг/м³ максимально возможная площадь разлива при частичной разгерметизации резервуара вертикального стального составит:

$$S_1 = \frac{M_1 \cdot f_p}{\rho} = \frac{2360 \cdot 20}{830} \approx 57 \text{ м}^2$$

При полном разрушении резервуара максимально возможная площадь разлива составит:

$$S_2 = \frac{M_2 \cdot f_p}{\rho} = \frac{14940000 \cdot 20}{830} \approx 360000 \text{ м}^2$$

Однако, так как резервуары расположены в обваловании, то максимальная площадь разлива не превысит площадь обвалования, то есть 10000 м². Таким образом, максимально возможная площадь разлива при полном разрушении резервуара вертикального стального составит S₂=10000 м².

2.3.6. Оценка количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов

Типовые сценарии аварий при разгерметизации (разрушении) резервуара хранения горючей жидкости приведены в п. 2.3.3 настоящего учебного пособия.

Основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.2, ЖС2.2 «Пожар разлития» является термическое воздействие пожара разлития на персонал опасного производственного объекта, рядом расположенные здания, сооружения, технологическое оборудование, а также окружающую среду. Как правило, при консервативных расчетах, количество опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов при реализации сценариев ЖС1.2, ЖС2.2 «Пожар разлития» равно количеству опасного вещества, участвующего в аварии, то есть в результате реализации указанных сценариев сгорает все количество вещества, которое поступило в открытое пространство в результате истечения при разгерметизации (разрушении) технологического оборудования.

Основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.1, ЖС1.2 «Утечка горючей жидкости без воспламенения» является токсическое воздействие паров горючей жидкости на персонал опасного производственного объекта и окружающую среду. Таким образом, в создании поражающих факторов будет участвовать только испарившееся количество опасного вещества.

Основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.3, ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» является барическое воздействие ударной волны от сгорания паровоздушного облака в дефлаграционном режиме на персонал опасного производственного объекта. Значение избыточного давления на фронте падающей ударной волны при сгорании паровоздушной смеси в дефлаграционном режиме пропорционально количеству опасного вещества в паровоздушном облаке (испарившегося опасного вещества).

Количество опасного вещества (кг), испарившегося с площади разлития определяется по формуле:

$$m = W \cdot S \cdot \tau \quad (2.5)$$

где W – интенсивность испарения горючего вещества с площади разлития, кг/м²·с;

S – площадь разлития, м²;

τ – длительность испарения, с.

Интенсивность испарения (кг/м²·с) для ненагретых жидкостей определяется по формуле ПЗ.68 [26]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H \quad (2.6)$$

где η – коэффициент, зависящий от скорости и температуры потока над поверхностью испарения (для случая пролива вне помещения допускается принимать $\eta=1$);

M – молярная масса паров жидкости, кг/кмоль;

P_H – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

При разлитии однокомпонентных жидкостей в качестве молярной массы паров принимается молярная масса жидкости. В случае разлития многокомпонентной жидкости, необходимо учитывать конкретный компонентный состав паров. Так, например, при разлитии нефти – сложной углеводородной жидкости, компонентный состав которой неоднороден и включает широкий спектр углеводородов (метан, этан, пропан, бутан и т.д.) при определении молярной массы паров рекомендуется учитывать преимущественно легкие углеводороды, которые в нормальных атмосферных условиях являются газом.

В таблице 2.6 [27] приведены сведения о молекулярных массах некоторых легких углеводородов, например: метан – 16,043 кг/кмоль; этан – 30,068 кг/кмоль; пропан – 44,097 кг/кмоль; бутан – 58,124 кг/кмоль; пентан – 72,146 кг/кмоль.

Давление насыщенного пара P_H при расчетной температуре жидкости определяется по формуле:

$$P_H = 10^{\left[A - \frac{B}{t_p - C_A}\right]} \quad (2.7)$$

где A, B, C_A – коэффициенты Антуана;

t_p – расчетная температура, °С.

Согласно п. 6 приложения № 3 [26] длительность испарения жидкости с поверхности пролива принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с. Для проливов жидкости до 20 кг время испарения допускается принимать равным 900 с.

Пример оценки количества опасного вещества, испарившегося с поверхности разлития

Согласно п. 2.3.5 настоящего учебного пособия максимально возможная площадь разлития при частичной разгерметизации резервуара вертикального стального составит $S_1=57 \text{ м}^2$, а максимально возможная площадь разлития при полном разрушении резервуара вертикального стального составит $S_2=10000 \text{ м}^2$.

В соответствии с [23] давление насыщенного пара товарной нефти составляет не более $P_H=66,7 \text{ кПа}$.

Время испарения консервативно принимаем равным 3600 с.

Молярную массу паров нефти принимаем равной 50 г/моль.

Количество опасного вещества, испарившегося с поверхности разлития составит:

- при частичной разгерметизации:

$$m_1 = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 57 \cdot \sqrt{50} \cdot 66,7 = 97 \text{ кг}$$

- при полном разрушении:

$$m_2 = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10000 \cdot \sqrt{50} \cdot 66,7 = 16979 \text{ кг}$$

Рекомендуемая форма предоставления сведений о количестве опасного вещества, участвующего в аварии и участвующего в создании поражающих факторов, в рамках процедуры анализа риска аварий, приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Сведения о количестве опасного вещества, участвующего в аварии и участвующего в создании поражающих факторов

Сценарий	Наименование оборудования, № по схеме	Последствия аварии	Основной поражающий фактор	Количество участвующего опасного вещества, т	
				в аварии	в создании поражающих факторов
<i>Составляющая «Парк резервуарный магистрального нефтепровода»</i>					
ЖС1.1	Резервуар хранения нефти РВС-20000	Утечка без пожара	Токсическое поражение	2,360	0,097
ЖС1.2		Пожар разлива	Термическое поражение	2,360	2,360
ЖС1.3		Взрыв ПВС	Барическое поражение	2,360	0,097
ЖС2.1		Утечка без пожара	Токсическое поражение	14940	16,979
ЖС2.2		Пожар разлива	Термическое поражение	14940	14940
ЖС2.3		Взрыв ПВС	Барическое поражение	14940	16,979

2.3.7. Оценка зон действия поражающих факторов при пожаре пролива

Как уже было указано выше, основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.2, ЖС2.2 «Пожар разлития» является термическое воздействие пожара разлития на персонал опасного производственного объекта, рядом расположенные здания, сооружения, технологическое оборудование, а также окружающую среду.

Оценка зон действия поражающих факторов при пожаре пролива осуществляется в соответствии с положениями п. 23 приложения № 3 [26].

Согласно п. 23 приложения № 3 [26] интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) для пожара пролива горючих жидкостей определяется по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (2.8)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q – угловой коэффициент облученности;

τ – коэффициент пропускания атмосферы.

В таблице В.1 [28], таблице П.3.4 [26], таблице 3.4 [10] приведены значения среднеповерхностной плотности теплового излучения пламени в зависимости от диаметра разлития для некоторых жидких углеводородных топлив.

Среднеповерхностная интенсивность E_f теплового излучения пламени определяется по таблице 2.5 в зависимости от диаметра d очага пожара.

Таблица 2.5 – Значения среднеповерхностной интенсивности E_f теплового излучения пламени в зависимости от диаметра d очага пожара

Топливо	E_f , кВт/м ² , при d , м					Скорость выгорания кг/(м ² с)
	10	20	30	40	50	
Сжиженный природный газ	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,1
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельное топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04

При отсутствии данных для нефтепродуктов допускается принимать величину E_f равной 40 кВт/м².

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (2.9)$$

где F_V , F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, которые определяются по формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right] \quad (2.10)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right] \quad (2.11)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S} \quad (2.12)$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S} \quad (2.13)$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d} \quad (2.14)$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d} \quad (2.15)$$

где r – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;

d – эффективный диаметр пролива, м;

H – высота пламени, м.

Эффективный диаметр пролива d (м) рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \quad (2.16)$$

где F – площадь пролива, м².

Высота пламени H (м) определяется по формуле:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left[\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0,61} \quad (2.17)$$

где m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м² с);

ρ_a – плотность окружающего воздуха, кг/м³;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле:

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] \quad (2.18)$$

В таблице 5-2 [1], таблице В.2 [28], таблице П.4.4 [26], таблице 4.8 [10] приведены предельно допустимые значения интенсивности теплового излучения для различных степеней поражения человека и повреждения материалов.

Примеры предельно допустимых значений интенсивности теплового излучения для различных степеней поражения человека и повреждения материалов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Примеры предельно допустимых значений интенсивности теплового излучения для различных степеней поражения человека и повреждения материалов

Степень поражения	Интенсивность теплового излучения, кВт/м²
Без негативных последствий в течение неограниченного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20-30 с	7,0
Ожог 1-ой степени через 15-20 с	
Ожог 2-ой степени через 30-40 с	
Воспламенение хлопка-волокна через 15 минут	10,5
Непереносимая боль через 3-5 с	
Ожог 1-ой степени через 6-8 с	
Ожог 2-ой степени через 12-16 с	12,9
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12%) при длительности облучения 15 минут	
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганной поверхности; воспламенение фанеры	17,0
Летальный исход с вероятностью 50% при длительности воздействия около 10 с	44,5

Согласно приложению №5 к [1] для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение интенсивности теплового излучения, превышающее 7,0 кВт/м², а условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара (пролива), принимается равной 100%.

Оценка размеров зон действия поражающих факторов при пожаре пролива, как правило, осуществляется с помощью сертифицированных программных продуктов (например, TOXI+Risk).

Рекомендуемая форма представления результатов расчета зон действия поражающих факторов при пожаре пролива приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчета интенсивности теплового излучения от пожара пролива

№ сценария	Наименование оборудования	Эффективный диаметр зоны действия открытого огня, м	Расстояние от геометрического центра пролива до зоны с интенсивностью теплового излучения, м			
			10,5 кВт/м ²	7,0 кВт/м ²	4,2 кВт/м ²	1,4 кВт/м ²
ЖС1.2	Резервуар РВС-20000	8,5	6	9	12	24
ЖС2.2		113	-	56	77	142

2.3.8. Оценка зон действия поражающих факторов при сгорании паровоздушного облака в открытом пространстве

В п. 2.3.6 настоящего учебного пособия указано, что основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.3, ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» является барическое воздействие ударной волны от сгорания паровоздушного облака в дефлаграционном режиме на персонал опасного производственного объекта, рядом расположенные здания, сооружения, технологическое оборудование, а также объекты окружающей среды.

Оценка размеров зон действия поражающих факторов сценариев аварий с распространением ударной волны при сгорании паровоздушных смесей в открытом пространстве осуществляется в соответствии с положениями раздела IV приложения № 3 [26].

Основными структурными элементами алгоритма расчетов являются:

- определение ожидаемого режима сгорания облака;

- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления для различных режимов;

- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;

- оценка поражающего воздействия.

Исходными данными для расчета параметров волн давления при сгорании облака являются:

- вид горючего вещества, содержащегося в облаке;

- концентрация горючего вещества в смеси (C_T);

- стехиометрическая концентрация горючего вещества с воздухом ($C_{ст}$);

- масса горючего вещества, содержащегося в облаке (M_T), с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени. Допускается величину M_T принимать равной массе горючего вещества, содержащегося в облаке, с учетом коэффициента Z участия горючего вещества во взрыве. При отсутствии данных коэффициент Z может быть принят равным 0,1;

- удельная теплота сгорания горючего вещества $E_{уд}$;

- скорость звука в воздухе C_0 (обычно принимается равной 340 м/с);

- информация о степени загроможденности окружающего пространства.

Эффективный энергозапас горючей смеси E (Дж) определяется по формуле:

$$E = \begin{cases} M_T \cdot E_{уд}, & C_T \leq C_{ст} \\ M_T \cdot E_{уд} \cdot \frac{C_{ст}}{C_T}, & C_T > C_{ст} \end{cases} \quad (2.19)$$

При расчете параметров сгорания облака, расположенного на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.

Классификация горючих веществ по степени чувствительности

Вещества, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по степени своей чувствительности к возбуждению взрывных процессов разделены на четыре класса:

класс 1 – особо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки менее 2 см);

класс 2 – чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 2 до 10 см);

класс 3 – средне чувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 10 до 40 см);

класс 4 – слабо чувствительные вещества (размер детонационной ячейки более 40 см).

Классификация наиболее распространенных в промышленном производстве горючих веществ по степени чувствительности приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Классификация наиболее распространенных в промышленном производстве горючих веществ по степени чувствительности

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен	Акрилонитрил	Ацетальдегид	Бензол
Винилацетилен	Акролеин	Ацетон	Декан
Водород	Бутан	Бензин	о-Дихлорбензол
Гидразин	Бутилен	Винилацетат	Додекан
Изопропилнитрат	Бутадиен	Винилхлорид	Метан
Метилацетилен	1,3-Пентадиен	Гексан	Метилбензол
Нитрометан	Пропан	Изооктан	Метилмеркаптан
Окись пропилена	Пропилен	Метиламин	Метилхлорид
Окись этилена	Сероуглерод	Метилацетат	Окись углерода
Этилнитрат	Этан	Метилбутилкетон	Этиленбензол
	Этилен	Метилпропилкетон	
	Эфиры:	Метилэтилкетон	
	- диметилловый	Октан	
	- дивиниловый	Пиридин	
	- метилбутиловый	Сероводород	
	Широкая фракция	Спирты:	
	легких	- метиловый	
	углеводородов	- этиловый	

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
		- пропиловый - амиловый - изобутиловый - изопропиловый Циклогексан Этилформиат Этилхлорид	

Удельная теплота сгорания $E_{уд}$ (Дж/кг) определяется по формуле:

$$E_{уд} = 44 \cdot 10^6 \cdot \beta \quad (2.20)$$

где β – корректировочный параметр.

Значения корректировочного параметра β для ранее определенных классов горючих веществ по степени чувствительности приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Значения корректировочного параметра

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
Класс 1		Класс 3	
Ацетилен	1,1	Кумол	0,84
Метилацетилен	1,05	Метиламин	0,70
Винилацетилен	1,03	Спирты:	
Окись этилена	0,62	- метиловый	0,45
Гидразин	0,44	- этиловый	0,61
Изопропилнитрат	0,41	- пропиловый	0,69
Этилнитрат	0,30	- амиловый	0,79
Водород	2,73	Циклогексан	1
Нитрометан	0,25	Ацетальдегид	0,56
Класс 2		Винилацетат	0,51
Этилен	1,07	Бензин	1
Диэтилэфир	0,77	Гексан	1
Дивинилэфир	0,77	Изооктан	1
Окись пропилена	0,7	Пиридин	0,77
Акролеин	0,62	Циклопропан	1
Сероуглерод	0,32	Этиламин	0,80
Бутан	1	Класс 4	

Классы горючих веществ	β	Классы горючих веществ	β
Бутилен	1		
Бутадиен	1	Метан	1,14
1,3-Пентадиен	1	Трихлорэтан	0,15
Этан	1	Метилхлорид	0,12
Диметилэфир	0,66	Бензол	1
Диизопропиловый эфир	0,82	Декан	1
ШФЛУ	1	Додекан	1
Пропилен	1	Метилбензол	1
Пропан	1	Метилмеркаптан	0,53
Класс 3		Окись углерода	0,23
Винилхлорид	0,42	Дихлорэтан	0,24
Сероводород	0,34	Дихлорбензол	0,42
Ацетон	0,65	Трихлорэтан	0,14

Классификация окружающего пространства по степени загроможденности

Характером загроможденности окружающего пространства в значительной степени определяется скорость распространения пламени при сгорании облака и, следовательно, параметры волны давления. Характеристики загроможденности окружающего пространства разделяются на четыре класса:

класс I – наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания, имеющих размеры не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси. Если размер детонационной ячейки для данной смеси не известен, то минимальный характерный размер струй принимается равным 5 см для веществ класса 1, 20 см – для веществ класса 2, 50 см – для веществ класса 3 и 150 см – для веществ класса 4;

класс II – сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий;

класс III – средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк;

класс IV – слабо загромождение и свободное пространство.

Классификация режимов сгорания облака

класс I – детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и более;

класс 2 – дефлаграция, скорость фронта пламени 300-500 м/с;

класс 3 – дефлаграция, скорость фронта пламени 200-300 м/с;

класс 4 – дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с;

класс 5 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле:

$$u = 43 \cdot \sqrt[6]{M} \quad (2.21)$$

где M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг;

класс 6 – дефлаграция, скорость фронта пламени определяется по формуле:

$$u = 26 \cdot \sqrt[6]{M} \quad (2.22)$$

Ожидаемый режим сгорания облака

Ожидаемый режим сгорания облака определяется с помощью таблицы 2.10, в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства.

Таблица 2.10 – Ожидаемый режим сгорания облака

Класс горючего вещества	Класс загроможденности окружающего пространства			
	I	II	III	IV
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных волн давления

Сгорание углеводородных топлив, как правило, происходит со скоростью фронта пламени не более 500 м/с, поэтому класс 1 режима сгорания облака в дальнейшем не рассматривается.

Для классов 2-6 режима сгорания облака определяют безразмерное расстояние по формуле:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} \quad (2.23)$$

где R – расстояние от центра облака, м;

P_0 – атмосферное давление, Па;

E – эффективный энергозапас смеси, Дж.

Величины безразмерного давления P_{x1} и импульса фазы сжатия I_{x1} определяются по формулам:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right) \quad (2.24)$$

$$I_{x1} = W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right) \quad (2.25)$$

$$W = \frac{u}{C_0} \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \quad (2.26)$$

где u – видимая скорость фронта пламени, м/с;

$\sigma=7$ – степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей).

Размерные величины избыточного давления ΔP и импульса фазы сжатия I^+ определяются по формулам:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 \quad (2.27)$$

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot \frac{E^{1/3}}{C_0} \quad (2.28)$$

Формулы (2.24), (2.25) справедливы для значений R_x больших величины $R_{кр1}=0,34$, в случае, если $R_x < R_{кр1}$, в формулы (2.24), (2.25) вместо R_x подставляется величина $R_{кр1}$.

Оценка размеров зон действия поражающих факторов при сгорании паровоздушного облака в открытом пространстве, как правило, осуществляется с помощью сертифицированных программных продуктов (например, TOXI+Risk).

Пример расчета зон действия поражающих факторов при взрыве паровоздушного облака в открытом пространстве

В качестве примера приведен расчет избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушной волны давления на расстоянии $R=161$ м от центра облака при взрыве паровоздушного облака в открытом пространстве, образовавшегося при частичной разгерметизации резервуара вертикального стального.

Согласно п. 2.3.6 настоящего учебного пособия количество опасного вещества, испарившегося с поверхности разлива при частичной разгерметизации резервуара вертикального стального составит $M_T=97$ кг. Допускается величину M_T принимать равной массе горючего вещества, содержащегося в облаке, с учетом коэффициента $Z=0,1$ участия горючего вещества во взрыве.

Для консервативных расчетов принимаем, что концентрация горючего вещества в смеси с воздухом соответствует стехиометрической концентрации, т.е. $C_T = C_{ст}$.

Эффективный энергозапас E (Дж) определяем по формулам (2.19) и (2.20):

$$E = 2 \cdot M_T \cdot 44 \cdot 10^6 \cdot \beta = 2 \cdot 9,7 \cdot 44 \cdot 10^6 \cdot 1 = 8,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}$$

Нефть, по степени чувствительности, относится к классу 3 (таблица 2.8).

По степени загроможденности резервуарный парк относится к классу III.

В зависимости от класса горючего вещества по степени чувствительности и класса загроможденности окружающего пространства по таблице 2.10 определяем режим сгорания – 4.

Для режима сгорания облака класса 4 максимальная скорость фронта пламени составляет 200 м/с.

Определим безразмерное расстояние по формуле (2.23):

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} = \frac{161}{\left(\frac{8,5 \cdot 10^8}{101325}\right)^{1/3}} = 7,912$$

Определяем величины давления P_{x1} и импульса фазы сжатия I_{x1} по формулам (2.24), (2.25), (2.26):

$$P_{x1} = \left(\frac{200^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,93}{7,912} - \frac{0,14}{7,912^2}\right) = 0,03$$

$$W = \frac{200}{340} \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) = 0,504$$

$$I_{x1} = 0,504 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,504) \cdot \left(\frac{0,06}{7,912} + \frac{0,01}{7,912^2} - \frac{0,0025}{7,912^3}\right) = 0,003$$

Определяем размерные величины избыточного давления ΔP (кПа) и импульса фазы сжатия I^+ (Па·с) по формулам (2.27), (2.28):

$$\Delta P = P_x \cdot P_0 = 0,03 \cdot 101325 = 3040 \text{ Па (3 кПа)}$$

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{E^{\frac{1}{3}}}{C_0} = 0,003 \cdot 101325^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{(8,5 \cdot 10^8)^{\frac{1}{3}}}{340} = 19 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Аналогично проведено определение величины избыточного давления ΔP (кПа) и импульса фазы сжатия для других расстояний от центра облака. Результаты расчета сведены в таблицу 2.11.

Рекомендуемая форма представления результатов расчета зон действия поражающих факторов при взрыве паровоздушного облака в открытом пространстве приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчета зон действия поражающих факторов при взрыве паровоздушного облака в открытом пространстве

№ сценария	Наименование оборудования	Граница зоны избыточного давления и соответствующего ему импульса фазы сжатия при взрыве ТВС, м				
		53 кПа	28 кПа (266 Па·с)	12 кПа (87 Па·с)	5 кПа (35 Па·с)	3 кПа (19 Па·с)
ЖС1.3	Резервуар РВС-20000	-	13	37	88	161
		53 кПа	28 кПа (1501 Па·с)	12 кПа (486 Па·с)	5 кПа (198 Па·с)	3 кПа (107 Па·с)
-		72	207	487	889	
ЖС2.3						

В таблице 5-4 [1], таблице А.4 [28], таблице П.4.1 [26] приведены предельно допустимые значения избыточного давления для различных степеней поражения человека и повреждения зданий.

В таблицах 4.2, 4.3 [10] приведены значения критического давления для разрушения ударной волной тех или иных элементов зданий, а также повреждений некоторых промышленных конструкций.

Примеры предельно допустимых значений избыточного давления для различных степеней поражения человека и повреждения зданий приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Примеры предельно допустимых значений избыточного давления для различных степеней поражения человека и повреждения зданий

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	100
Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
50%-ное разрушение зданий	53
Средние повреждения зданий	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.)	12
Нижний порог повреждения человека волной давления	5
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3

Согласно приложению №5 к [1] для определения числа пострадавших рекомендуется принимать величину избыточного давления на фронте падающей ударной волны безопасной для человека $\Delta P=5$ кПа. Воздействие на человека ударной волны с избыточным давлением на фронте $\Delta P>120$ кПа рекомендуется принимать в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение избыточного давления, превышающее 70 кПа.

2.4. Оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях

2.4.1. Оценка возможности возникновения и развития инцидентов и аварий

Как уже было сказано ранее для оценки частоты инициирующих и последующих событий в анализируемых сценариях аварий рекомендуется использовать:

а) статистические данные по аварийности, надежности технических устройств и технологических систем, соответствующие отраслевой специфике ОПО или виду производственной деятельности;

б) логико-графические методы «Анализ деревьев событий», «Анализ деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий на ОПО;

в) экспертные специальные знания в области аварийности и травматизма на ОПО в различных отраслях промышленности.

Сведения о происходящих авариях и инцидентах на территории Российской Федерации собираются и анализируются органами исполнительной власти, осуществляющими контрольно-надзорную деятельность в области промышленной и пожарной безопасности: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России).

На основании полученных данных о произошедших авариях и инцидентах публикуются соответствующие статистические данные, которые также включаются в нормативно правовые акты и методики проведения анализа риска аварий на опасных производственных объектах [1] и анализа пожарного риска [26].

Так, например, в таблице № 4-4 [1] и в таблице П1.1 [26] приведены сведения о среднестатистической частоте разгерметизации резервуаров хранения горючих жидкостей под давлением близким к атмосферному.

Согласно таблице № 4-4 [1] для рассматриваемых в качестве примера резервуаров вертикальных стальных со стационарной крышей среднестатистическая частота частичной разгерметизации составляет $Q_1=1,0 \times 10^{-4}$ год⁻¹, а среднестатистическая частота полного разрушения – $Q_2=1,0 \times 10^{-5}$ год⁻¹. При этом условный диаметр дефектного отверстия при частичной разгерметизации резервуара принят равным 10 мм.

Согласно таблице П1.1 [26] для рассматриваемых в качестве примера резервуаров вертикальных стальных со стационарной крышей среднестатистическая частота частичной разгерметизации составляет $Q_1=8,8 \times 10^{-5}$ год⁻¹, а среднестатистическая частота полного разрушения – $Q_2=5,0 \times 10^{-6}$ год⁻¹. При этом условный диаметр дефектного отверстия при частичной разгерметизации резервуара принят равным 25 мм.

В дальнейшем, для оценки риска аварий, будем использовать значения среднестатистической частоты разгерметизации (разрушения) резервуара хранения, указанные в таблице № 4-4 [1], как наиболее консервативные.

Для оценки частоты реализации конкретного из перечисленных в п. 2.3.3 настоящего учебного пособия сценария аварии, реализация которых возможна при разгерметизации (разрушении) резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов, чаще всего используются «деревья событий».

Типовые «деревья событий» для объектов хранения нефти и нефтепродуктов приведены на рис. 1 [3], рис. 5.5 [4].

Пример типового «дерева событий» для объектов хранения нефти и нефтепродуктов приведен на рисунке 2.3.

На рисунке 2.3 принимаются следующие условные вероятности событий:

а) резервуар сохраняет целостность после появления разрушения (а) – 0,95;
б) разрушение соседних (находящихся в одном обваловании) резервуаров и дополнительный выброс опасного вещества (б):

- для длительных выбросов – 0;

- для залповых – 0,05;

в) пролив за пределы обвалования (с) – при длительном выбросе: 1 – если приподнятая струя, образующаяся при истечении из резервуара, выпадает за пределы обвалования и 0 в противном случае; при залповом выбросе: 0 – если конструкция обвалования вмещает все выброшенные опасные вещества, исключает перехлест опасных веществ через обвалование и его разрушение (размыв); 1 – в противном случае;

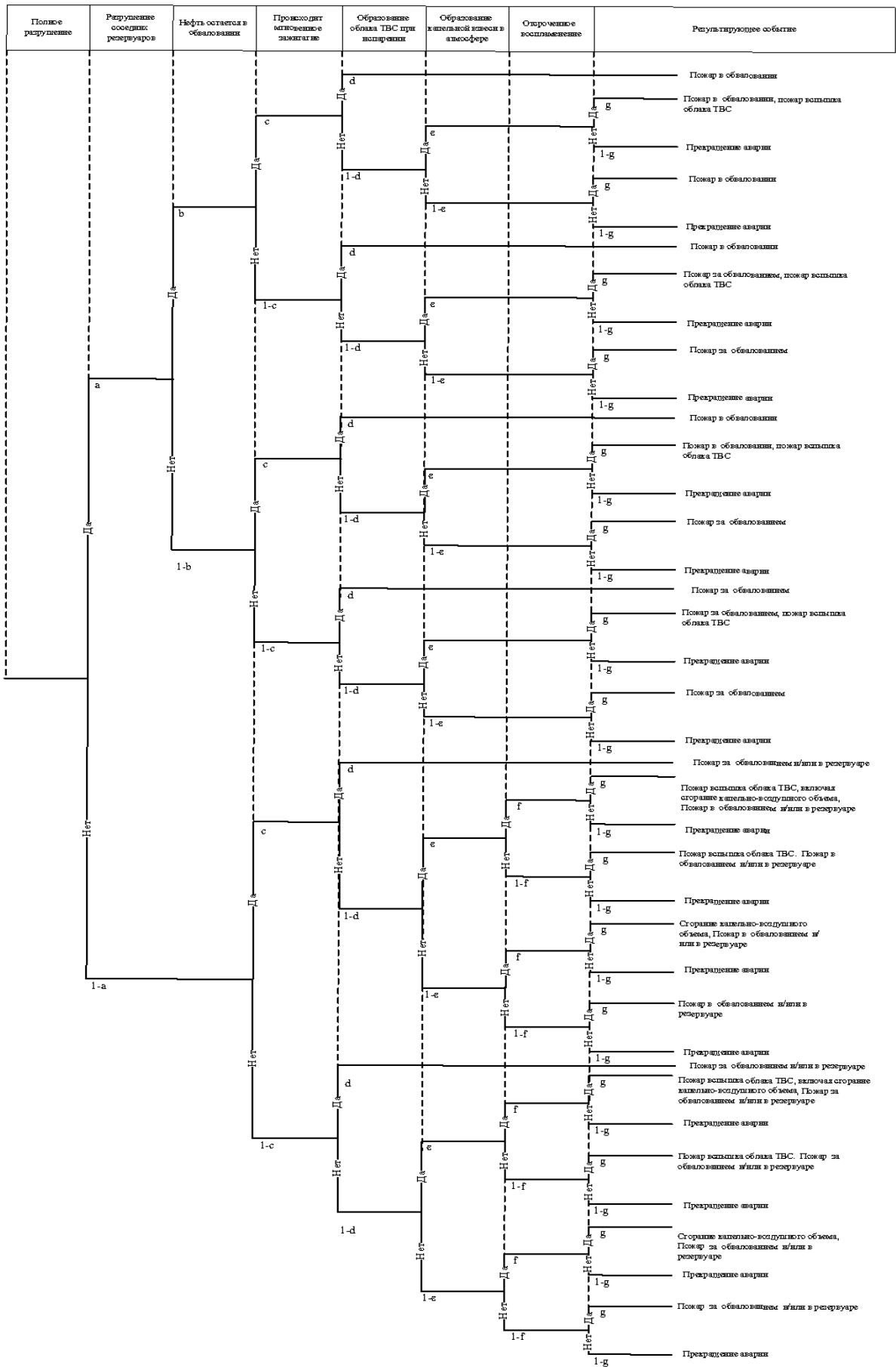


Рисунок 2.3 – Пример типового «дерева событий» для объектов хранения нефти и нефтепродуктов

г) мгновенное воспламенение и образование горящих проливов (d) – 0,05;

д) образование дрейфующего облака топливно-воздушной смеси (e) – для всех дизтоплив и нефтей с давлением насыщенных паров менее 10 кПа – 0, в остальных случаях – 1;

е) образование капельной взвеси опасного вещества в атмосфере (f) – для бензинов и керосинов при высоте выброса более 5 м – 1; в остальных случаях – 0;

ж) появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (g) – 0,05.

Приведенные условные вероятности могут быть скорректированы с учетом дополнительных решений, направленных на снижение риска аварий на ОПО.

Результирующая условная вероятность реализации того или иного сценария аварии определяется путем перемножения условных вероятностей последующих после разгерметизации (разрушения) резервуара событий.

Например, условная вероятность реализации сценария ЖС2.2 с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром пролива в границах обвалования будет включать следующие множители:

a=0,05 – полное разрушение резервуара;

b=0 – разрушение соседних резервуаров не происходит;

c=0 – нефть остается в обваловании;

d=0,05 – происходит мгновенное воспламенение пролива;

e=0 – образование дрейфующего облака топливно-воздушной смеси не происходит;

f=0 – образование капельной взвеси в атмосфере не происходит;

g=0 – появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (отсроченное воспламенение) не происходит.

Так как согласно таблице № 4-4 [1] для рассматриваемых в качестве примера резервуаров вертикальных стальных со стационарной крышей среднестатистическая частота полного разрушения составляет $Q_2=1,0 \times 10^{-5}$ год⁻¹,

то при определении частоты реализации сценария ЖС2.2 с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром пролива в границах обвалования будет учитываться только условная вероятность мгновенного воспламенения пролива ($d=0,05$).

Частота реализации сценария ЖС2.2 с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром пролива в границах обвалования составит:

$$Q_{ЖС2.2} = 2 \times 1,0 \times 10^{-5} \times 0,05 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

где 2 шт. – количество резервуаров хранения нефти;

0,05 – условная вероятность мгновенного воспламенения пролива.

Условная вероятность реализации сценария ЖС2.3 с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим взрывом топливно-воздушной смеси будет включать следующие множители:

$a=0,05$ – полное разрушение резервуара;

$b=0$ – разрушение соседних резервуаров не происходит;

$c=0$ – нефть остается в обваловании;

$d=0$ – происходит мгновенное воспламенение пролива;

$e=1$ – образование дрейфующего облака топливно-воздушной смеси;

$f=0$ – образование капельной взвеси в атмосфере не происходит;

$g=0,05$ – появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (отсроченное воспламенение).

Частота реализации сценария ЖС2.3 с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим взрывом топливно-воздушной смеси составит:

$$Q_{ЖС2.3} = 2 \times 1,0 \times 10^{-5} \times 1 \times 0,05 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

где 2 шт. – количество резервуаров хранения нефти;

1 – условная вероятность образования дрейфующего облака топливно-воздушной смеси;

0,05 – условная вероятность появления на пути дрейфующего облака источника зажигания (отсроченное воспламенение).

Аналогично осуществляется оценка частоты реализации возможных сценариев аварий с частичной разгерметизацией и полным разрушением резервуара хранения нефти (нефтепродукта).

Результаты оценки частот реализации возможных сценариев аварий с частичной разгерметизацией и полным разрушением резервуара хранения нефти (нефтепродукта) приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Результаты оценки частот реализации возможных сценариев аварий с частичной разгерметизацией и полным разрушением резервуара хранения нефти (нефтепродукта)

Наименование оборудования	Частота реализации сценария аварии, год ⁻¹					
	ЖС1.1	ЖС1.2	ЖС1.3	ЖС2.1	ЖС2.2	ЖС2.3
Резервуар хранения нефти РВС-20000	1,0x10 ⁻⁴	4,8x10 ⁻⁶	4,8x10 ⁻⁶	1,0x10 ⁻⁵	1,0x10 ⁻⁶	1,0x10 ⁻⁶

2.4.2. Оценка тяжести последствий и (или) ущербов от возможных инцидентов и аварий

2.4.2.1. Оценка количества пострадавших

В качестве пострадавших могут выступать персонал рассматриваемого опасного производственного объекта, персонал обслуживающих предприятий, а также население и третьи лица (например, пассажиры и водители транспортных средств), которые оказались вблизи опасного производственного объекта в зонах действия поражающих факторов возможных аварий.

Согласно приложению №5 [1] при оценке последствий воздействия опасных факторов аварий на ОПО и для оценки степени возможного поражения людей по вычисленным параметрам поражающих факторов могут использоваться как детерминированные (учитывающие только величину поражающих факторов), так и вероятностные критерии (по пробит-функции,

характеризующей вероятность возникновения последствий определенного масштаба в зависимости от уровня воздействия).

Детерминированные критерии устанавливают значения поражающего фактора, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения.

Детерминированные критерии присваивают определенной величине негативного воздействия поражающего фактора конкретную степень поражения людей.

В случае использования детерминированных критериев условная вероятность поражения принимается равной 1, если значение поражающего фактора превышает предельно допустимый уровень, и равной 0, если значение предельно допустимого уровня поражения не достигается.

Вероятностные критерии показывают, какова условная вероятность того или иного уровня поражения при заданном значении поражающего фактора.

Поскольку одна и та же мера воздействия может вызвать последствия различной степени тяжести, величина вероятности поражения выражается функцией Гаусса (функцией ошибок) через пробит-функцию:

$$P_{\text{пор}} = f[P_r(D)] \quad (2.29)$$

Связь вероятности поражения с пробит-функцией приведена в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Связь вероятности поражения с пробит-функцией

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

В общем случае пробит-функция имеет вид:

$$P_r = a + b \cdot \ln D \quad (2.30)$$

где a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия;

D – доза негативного воздействия (для оценки воздействия теплового излучения – функция плотности, интенсивности теплового излучения и времени воздействия; для барического воздействия – избыточное давление на фронте ударной волны и импульс фазы сжатия).

Критерии поражения тепловым излучением

Согласно приложению №5 [1] при оценке воздействия теплового излучения основным критерием поражения является интенсивность теплового излучения. Детерминированные критерии поражения людей приведены в таблице 2.6. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение интенсивности теплового излучения, превышающее $7,0 \text{ кВт/м}^2$.

Для поражения человека тепловым излучением величина пробит-функции описывается следующими выражениями:

$$P_r = -12,8 + 2,56 \ln D \quad (2.31)$$

$$D = t \cdot q^{4/3} \quad (2.32)$$

Величина эффективного времени экспозиции t для пожара пролива вычисляется по формуле:

$$t = t_0 + \frac{x_6}{u_{\text{ср}}} \quad (2.33)$$

где t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (принимается равным 5 с);

x_6 – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м²), м;

$u_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается 5 м/с).

При использовании пробит-функции в качестве зон стопроцентного поражения принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигает величины, соответствующей вероятности в 90%. В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значения пробит-функции достигают величины, соответствующей вероятности в 1%.

Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара, пролива или факела, принимается равной 1.

При расчете вероятности поражения человека тепловым излучением рекомендуется учитывать возможность укрытия (например, в здании или за ним).

Пример оценки вероятности поражения человека тепловым излучением

В качестве примера рассмотрим случай, когда в момент разрушения резервуара хранения нефти $V=20000$ м³ и последующего воспламенения разлива, персонал предприятия находился на границе обвалования.

Учитывая результаты расчета зон действия поражающих факторов при пожаре пролива, которые приведены в таблице 2.7 расстояние от места

расположения человека до безопасной зоны (интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м²) составляет порядка 20 м.

Тогда величина эффективного времени экспозиции t для пожара пролива, которая вычисляется по формуле (2.33), составит:

$$t = 5 + \frac{20}{5} = 9 \text{ с}$$

Доза негативного воздействия теплового излучения, которая вычисляется по формуле (2.32), составит:

$$D = 9 \cdot 7^{4/3} = 121$$

Величина пробит-функции, которая вычисляется по формуле (2.31), составит:

$$P_r = -12,8 + 2,56 \ln(121) = -0,5$$

Оценивая соответствие полученного значения пробит-функции условной вероятности поражения человека, значения которых приведены в таблице 2.14, принимаем вероятность поражения человека тепловым излучением от пожара пролива равной 0.

Критерии поражения ударной волной

Согласно приложению №5 [1] величина избыточного давления на фронте падающей ударной волны принимается безопасной для человека $\Delta P_{\phi}=5$ кПа. Воздействие на человека ударной волны с избыточным давлением на фронте $\Delta P_{\phi}>120$ кПа рекомендуется принимать в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение избыточного давления, превышающее 70 кПа.

Сведения о степени разрушения промышленных, производственных, административных зданий и сооружений от воздействия избыточного давления ударной волны приведены в таблицах 5-4, 5-5 [1], а также в таблице 2.12 настоящего учебного пособия.

Условная вероятность травмирования и гибели людей, находящихся в зданиях, в зависимости от степени разрушения зданий от воздействия ударной волны определяется по таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Зависимость условной вероятности травмирования и гибели людей, находящихся в зданиях от степени разрушения зданий

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полная	Сильная	Средняя	Слабая
Смертельная	0,6	0,49	0,09	0
Тяжелая травма	0,37	0,34	0,1	0
Легкая травма	0,03	0,17	0,2	0,05

Для расчета условной вероятности разрушения объектов и поражения людей ударными волнами используются следующие пробит-функции:

а) вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1, \text{ где} \quad (2.34)$$

$$V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3} \quad (2.35)$$

где ΔP – избыточное давление, Па;

I – импульс, кг·м/с;

б) вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2, \text{ где} \quad (2.36)$$

$$V_2 = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I}\right)^{11,3} \quad (2.37)$$

в) вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, может быть оценена по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3, \text{ где} \quad (2.38)$$

$$V_3 = \frac{4,2}{\bar{p}} + \frac{1,3}{\bar{i}} \quad (2.39)$$

$$\bar{p} = 1 + \frac{\Delta P}{P_0} \quad (2.40)$$

$$\bar{i} = \frac{I}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}} \quad (2.41)$$

m – масса тела живого организма, кг;

P_0 – атмосферное давление, Па.

г) вероятность разрыва барабанных перепонок у людей от уровня перепада давления в воздушной волне определяется по формуле:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P \quad (2.42)$$

д) вероятность отброса человека волной давления оценивается по величине пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5, \text{ где} \quad (2.43)$$

$$V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I} \quad (2.44)$$

При использовании пробит-функций в качестве зон стопроцентного поражения принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигает величины, соответствующей вероятности в 90%. В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значения пробит-функции достигают величин, соответствующих вероятности в 1%.

Пример оценки вероятности поражения человека ударной волной

В качестве примера рассмотрим случай, когда в момент разрушения резервуара хранения нефти $V=20000 \text{ м}^3$ и последующим взрывом паров нефти, персонал предприятия находился в здании на расстоянии 72 м от центра пролива (обвалования).

Согласно таблице 2.11 при реализации сценария аварии ЖС2.3 с полным разрушением резервуара хранения нефти $V=20000 \text{ м}^3$ и последующим взрывом паров нефти на расстоянии 72 м от центра пролива (обвалования) избыточное давление взрыва составит 28 кПа, что в соответствии с таблицей 2.12 соответствует средней степени повреждения зданий.

Согласно таблице 2.15 при средней степени повреждения здания условная вероятность травмирования и гибели людей, находящихся в здании, составит: 0,09 – смертельная тяжесть поражения; 0,1 – тяжелая травма; 0,2 – легкая травма.

Вероятность разрыва барабанных перепонок у людей, находящихся на открытой местности на расстоянии 72 м от центра пролива (обвалования), от уровня перепада давления в воздушной волне, которая определяется по формуле (2.42), составит:

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln(28) = -7,5$$

Оценивая соответствие полученного значения пробит-функции условной вероятности поражения человека, значения которых приведены в таблице 2.14, принимаем вероятность поражения человека волной давления взрыва равной 0.

Вероятность отброса человека волной давления, находящегося на открытой местности на расстоянии 72 м от центра пролива (обвалования), которая определяется по формулам (2.43), (2.44) составит:

$$V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{28} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{28 \cdot 1501} = 30932$$

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln(30932) = -20,2$$

Оценивая соответствие полученного значения пробит-функции условной вероятности поражения человека, значения которых приведены в таблице 2.14, принимаем вероятность отброса человека волной давления взрыва равной 0.

Аналогично проводится оценка условной вероятности повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса по формулам (2.34), (2.35), условной вероятности разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу по формулам (2.36), (2.37), а также условной вероятности длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС по формулам (2.38), (2.39), (2.40), (2.41).

2.4.2.2. Оценка ущерба от реализации возможных сценариев аварий

Оценка ущерба от аварий на опасных производственных объектах осуществляется согласно Методическим рекомендациям [29].

Согласно п. 5 [29] структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах включает:

- полные финансовые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария;

- расходы на локализацию, ликвидацию и расследование аварии;
- социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц);
- вред, нанесенный окружающей природной среде;
- косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

В общем виде ущерб от аварий на опасных производственных объектах может быть определен по следующей формуле:

$$P_a = P_{п.п} + P_{л.а} + P_{сэ} + P_{н.в} + P_{экол} + P_{в.т.р} \quad (2.34)$$

где P_a – полный ущерб от аварий, руб.;

$P_{п.п}$ – прямые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, руб.;

$P_{л.а}$ – затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.;

$P_{сэ}$ – социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб.;

$P_{н.в}$ – косвенный ущерб, руб.;

$P_{экол}$ – экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей природной среды), руб.;

$P_{в.т.р}$ – потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности.

Структура оценки ущерба от аварий на опасных производственных объектах приведена на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Структура оценки ущерба от аварий на опасных производственных объектах

Прямые потери организации ($P_{п.п}$)

Прямые потери от аварии можно определить по формуле:

$$P_{п.п} = P_{о.ф} + P_{тм.ц} + P_{им} \quad (2.35)$$

где $P_{о.ф}$ – потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) основных фондов (производственных и непроизводственных), руб.;

$P_{тм.ц}$ – потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) товарно-материальных ценностей (продукции, сырья и т.п.), руб.;

$P_{им}$ – потери в результате уничтожения (повреждения) имущества третьих лиц, руб.

Потери предприятия от уничтожения (повреждения) аварией его основных фондов – производственных и непроизводственных, можно определить как

сумму потерь в результате уничтожения ($\Pi_{o.f.y}$) и повреждения основных фондов ($\Pi_{o.f.n}$):

$$\Pi_{o.f} = \Pi_{o.f.y} + \Pi_{o.f.n} \quad (2.36)$$

Потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) аварией товарно-материальных ценностей $\Pi_{тм.ц}$ можно определить по сумме потерь каждого вида ценностей следующим образом:

$$\Pi_{тм.ц} = \sum_{i=1}^n \Pi_{Ti} + \sum_{j=1}^m \Pi_{Cj} \quad (2.37)$$

где n – число видов товара, которым причинен ущерб в результате аварии;

Π_{Ti} – ущерб, причиненный i -му виду продукции, изготовляемой предприятием (как незавершенной производством, так и готовой), руб.;

m – число видов сырья, которым причинен ущерб в результате аварии;

Π_{Cj} – ущерб, причиненный j -му виду продукции, приобретенной предприятием, а также сырью и полуфабрикатам, руб.

Потери в результате уничтожения (повреждения) аварией имущества третьих лиц (в том числе населения), рекомендуется определять аналогично определению ущерба имуществу предприятия (для юридических лиц), а также на основании рыночной стоимости принадлежащего им по праву собственности или владения имущества (для физических лиц) и (или) с учетом данных страховых компаний (в случае застрахованного имущества).

Затраты на локализацию, ликвидацию и расследование аварии ($\Pi_{л.а}$)

Затраты на локализацию, ликвидацию и расследование аварии можно определить по формуле:

$$П_{л.а} = П_{л} + П_{р} \quad (2.38)$$

где $П_{л}$ – расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии, руб.;

$П_{р}$ – расходы на расследование аварии, руб.

Социально-экономические потери ($П_{сэ}$)

Социально-экономические потери можно определить как сумму затрат на компенсации и мероприятия вследствие гибели персонала ($П_{г.п}$), и третьих лиц ($П_{г.т.л}$), и (или) травмирования персонала ($П_{т.п}$), и третьих лиц ($П_{т.т.л}$):

$$П_{сэ} = П_{г.п} + П_{г.т.л} + П_{т.п} + П_{т.т.л} \quad (2.39)$$

Косвенный ущерб ($П_{н.в}$)

Косвенный ущерб ($П_{н.в}$), вследствие аварий рекомендуется определять как часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя ($П_{н.п}$), зарплату и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя ($П_{з.п}$), и убытки, вызванные уплатой различных неустоек, штрафов, пени и прочее ($П_{ш}$), а также убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли ($П_{н.п.т.л}$):

$$П_{нв} = П_{н.п} + П_{з.п} + П_{ш} + П_{н.п.т.л} \quad (2.40)$$

Экологический ущерб ($П_{экол}$)

Экологический ущерб ($П_{экол}$) определяется как сумма ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды:

$$П_{экол} = Э_{а} + Э_{в} + Э_{п} + Э_{б} + Э_{о} \quad (2.41)$$

где \mathcal{E}_a – ущерб от загрязнения атмосферы, руб.;

$\mathcal{E}_в$ – ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб.;

$\mathcal{E}_п$ – ущерб от загрязнения почвы, руб.;

$\mathcal{E}_б$ – ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов, руб.;

$\mathcal{E}_о$ – ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования и т.д., руб.

Потери от выбытия трудовых ресурсов ($P_{в.т.р.г}$)

Потери от выбытия трудовых ресурсов из производственной деятельности в результате гибели одного человека определяют по формуле:

$$P_{в.т.р.г} = N_T T_{р.д} \quad (2.42)$$

где N_T – доля прибыли, недоданная одним работающим, руб./день;

$T_{р.д}$ – потеря рабочих дней в результате гибели одного работающего, принимаемая равной 6000 дней.

Пример оценки ущерба от аварии на опасном производственном объекте

В качестве примера рассмотрим оценку ущерба от реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти $V=20000 \text{ м}^3$ и последующим пожаром разлива с полным выгоранием нефти.

Потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) основных фондов складываются, прежде всего, из потерь организации в результате уничтожения резервуара, стоимость которого на момент разрушения составила 6 млн.руб., а также в результате потерь нефти. Предположим, что на момент

разрушения резервуара стоимость нефти составила 5 т.р. за 1 тонну. Имущество третьих лиц не пострадало. Прямые потери организации, определяемые по формуле (2.30), составят: $P_{п.п} = 6000 \text{ т.р.} + (14940 \text{ т} \times 5 \text{ т.р./т}) = 80700 \text{ тыс.руб.}$

Согласно п. 5.2.2.3 [29] допускается затраты на локализацию, ликвидацию и расследование аварии принимать равными 10% от прямых потерь, т.е. $P_{л.а} = 8070 \text{ тыс.руб.}$

Учитывая значения теплового излучения от пожара пролива, которые приведены в таблице 2.7 настоящего учебного пособия, термические поражения различной степени тяжести может получить персонал (1 чел.), который находился в момент аварии в непосредственной близости от обвалования резервуарного парка и оказался в зонах термического воздействия от пожара разлива. Случаи смертельного термического поражения маловероятны. Социально-экономические потери составят: $P_{сэ} = P_{т.п} = 20 \text{ т.р.}$ (компенсация затрат на лечение персонала получившего термические ожоги).

Косвенный ущерб принимаем равным нулю ($P_{н.в}=0$), т.к. работа предприятия не приостанавливалась, штрафы, неустойки и т.п. не выплачивались.

Экологический ущерб будет складываться только из ущерба от загрязнения атмосферы вредными веществами, остальные виды ущерба, которые указаны в формуле (2.35) отсутствуют. Количество загрязняющих веществ, поступивших в атмосферный воздух при реализации сценария аварии «Пожар разлива» определялось согласно Методике расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов [30].

Согласно таблице 5.2 [30] скорость выгорания нефти составляет 108 кг/м^2 в час, линейная скорость выгорания – $2,04 \text{ мм/мин.}$ Исходя из площади обвалования и объема горючей жидкости в резервуаре с учетом коэффициента заполнения толщина слоя нефти в обваловании составит $1,8 \text{ м.}$ Следовательно, максимальное время горения пролива составит 882 мин.

Согласно таблице 5.1 [30] удельные выбросы вредных веществ при сгорании нефти составляют: диоксид углерода (CO_2) – $1,0000 \text{ кг/кг;}$ оксид

углерода (CO) – 0,084 кг/кг; сажа (C) – 0,17 кг/кг; оксид азота (NO₂) – 0,0069 кг/кг; сероводород (H₂S) – 0,001 кг/кг; оксид серы (SO₂) – 0,0278 кг/кг; синильная кислота (HCN) – 0,001 кг/кг; формальдегид (HCHO) – 0,001 кг/кг; органические кислоты (CH₃COOH) – 0,015 кг/кг.

Согласно постановлению Правительства РФ №913 от 13.09.2016 ставка платы за выброс в атмосферный воздух 1 тонны загрязняющего вещества – оксида углерода (CO) – 1,6 руб., сажи (C) – 36,6 руб., диоксид азота (NO₂) – 138,8 руб., сероводорода (H₂S) – 686,2 руб., оксид серы (SO₂) – 45,4 руб., синильная кислота (HCN) – 547,4 руб., формальдегид (HCHO) – 1823,6 руб., органические кислоты (CH₃COOH) – 93,5 руб.

Постановлением Правительства РФ №1393 от 11.09.2020 установлено, что в 2021 году применяются ставки платы, установленные на 2018 год, с использованием дополнительно к иным коэффициентам коэффициента 1,08.

Экологический ущерб от аварии с пожаром разлития:

$$\begin{aligned} P_{\text{эк}} = & (14940 \text{ т} \times 0,084 \times 1,6 \text{ руб./т} + 14940 \text{ т} \times 0,17 \times 36,6 \text{ руб./т} + \\ & + 14940 \text{ т} \times 0,0069 \times 138,8 \text{ руб./т} + 14940 \text{ т} \times 0,001 \times 686,2 \text{ руб./т} + \\ & + 14940 \text{ т} \times 0,0278 \times 45,4 \text{ руб./т} + 14940 \text{ т} \times 0,001 \times 547,4 \text{ руб./т} + \\ & + 14940 \text{ т} \times 0,001 \times 1723,6 \text{ руб./т} + 14940 \text{ т} \times 0,015 \times 93,5 \text{ руб./т}) \times \\ & \times 1,08 \times 25 = 5258 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

Потери от выбытия трудовых ресурсов (P_{в.т.р}) не прогнозируются, т.к. не прогнозируется гибель персонала.

Итого общий ущерб от аварии составит:

$$\begin{aligned} P_{\text{а}} = & P_{\text{п.п}} + P_{\text{л.а}} + P_{\text{сэ}} + P_{\text{н.в}} + P_{\text{экол}} + P_{\text{в.т.р}} = \\ = & 80700 + 8070 + 20 + 0 + 5258 + 0 = 94048 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

Аналогично осуществляется расчет ущерба для других возможных сценариев аварий. Результаты расчета ущерба для возможных сценариев аварий с разгерметизацией или полным разрушением резервуара хранения нефти приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Результаты расчета ущерба для возможных сценариев аварий

Наименование составляющей ущерба	Ущерб от реализации сценария аварии, тыс. руб.					
	ЖС1.1	ЖС1.2	ЖС1.3	ЖС2.1	ЖС2.2	ЖС2.3
Прямые потери	61	72	72	13470	80700	80700
Затраты на локализацию и ликвидацию	6	7	7	1347	8070	8070
Социально-экономические потери	0	0	0	0	20	20
Косвенный ущерб	0	0	0	0	0	0
Экологический ущерб	0	1	1	49	5258	5258
Потери от выбытия трудовых ресурсов	0	0	0	0	0	0
ИТОГО:	68	80	80	14866	94048	94048

Пример расчета ущерба от аварии на опасном производственном объекте хранения нефти также приведен в приложении 3 [29].

2.4.3. Оценка опасности аварий и связанных с ними угроз

Согласно определению (см. «Термины и определения») количественная оценка риска аварии – это определение значений числовых характеристик случайной величины ущерба (человеку, имуществу и окружающей среде) от аварии на ОПО. В количественной оценке риска аварии оцениваются значения вероятности (частоты) и соответствующей степени тяжести последствий реализации различных сценариев аварий для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды.

Основными количественными показателями риска аварий на опасном производственном объекте являются:

- потенциальный риск;
- индивидуальный риск;
- коллективный риск;
- социальный риск;
- экономический (материальный) риск;

- экологический риск.

Определения основных количественных показателей риска аварий на опасном производственном объекте приведены в приложении №1 [1], а также в разделе «Термины и определения» настоящего учебного пособия.

Потенциальный риск

Согласно п. 41 [1] величину потенциального риска $R_{\text{пот}}(x,y)$ в определенной точке (x,y) на территории площадочного объекта и в зонах, граничащих с площадочным объектом, рекомендуется определять по формуле:

$$R_{\text{пот}} = \sum_{i=1}^I Q_i \cdot \min \left(1, 1 - \prod_{j=1}^{\Phi_i(x,y)} \left(1 - v_{\text{уязв}}^{ij}(x,y) \cdot P_{\text{гиб}}^{ij}(x,y) \right) \right) \quad (2.43)$$

где I – число сценариев развития аварий;

Q_i – частота реализации в течение года i -го сценария аварии, год^{-1} ;

$v_{\text{уязв}}^{ij}(x,y)$ – коэффициент уязвимости человека, находящегося в точке территории с координатами (x,y) от j -го поражающего фактора, который может реализоваться в ходе i -го сценария аварии, и зависит от защитных свойств помещения, укрытия, в котором может находиться человек в момент аварии, и изменяющийся от 0 (человек неуязвим) до 1 (человек не защищен из-за незначительных защитных свойств укрытия), или превышать 1 в случае гибели людей при обрушении зданий;

$\Phi_i(x,y)$ – количество поражающих факторов, которые могут действовать одновременно при реализации i -го сценария в точке с координатами (x,y) ;

$P_{\text{гиб}}^{ij}(x,y)$ – условная вероятность гибели незащищенного человека на открытом пространстве в точке территории с координатами (x,y) от j -го поражающего фактора при реализации i -го сценария аварии.

Условный пример определения потенциального риска на территории резервуарного парка от реализации только сценариев со взрывом топливоздушная смеси (без учета сочетания различных сценариев), приведен на рисунке 2.5.

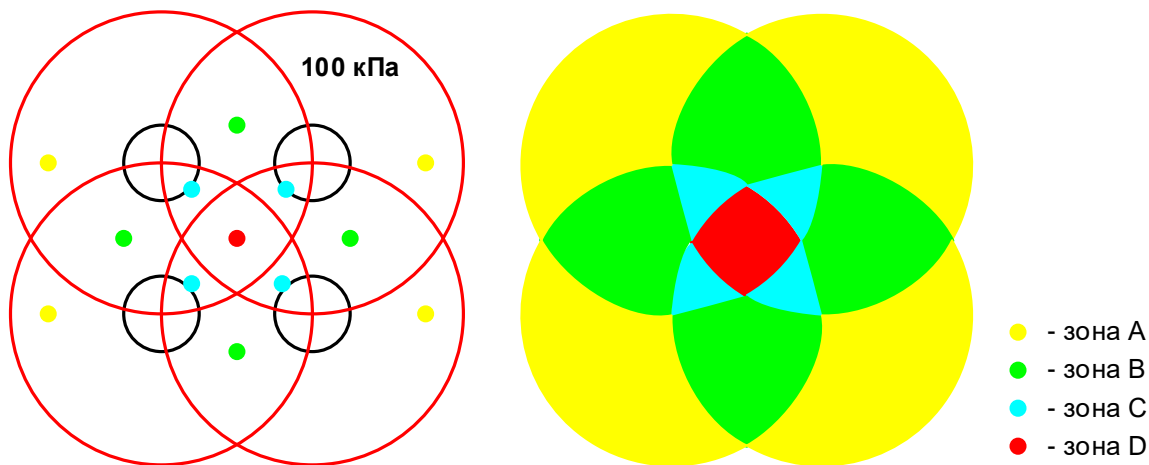


Рисунок 2.5 – Условный пример определения потенциального риска на территории резервуарного парка

На рисунке 2.5 черными окружностями обозначены идентичные по характеристикам резервуары на территории резервуарного парка, красными – условные линии, соответствующие избыточному давлению взрыва ТВС равному 100 кПа. Внутри красных окружностей – условная вероятность гибели человека на открытой местности составляет 100%. В результате образовалось четыре вида зон (А, В, С, D), которые характеризуются различным сочетанием (наложением) зон действия поражающих факторов аварий от рядом расположенных объектов.

Так, зона А (желтого цвета) характеризуется потенциальным риском, который определяется как произведение частоты реализации сценария аварии с взрывом ТВС ($Q_{ЖС2.3}$) для одного резервуара и условной вероятности гибели человека ($P_{гиб}$), оказавшегося в этой зоне: $R_{пот} = Q_{ЖС2.3} \times P_{гиб} = 1,0 \times 10^{-6} \times 1,0 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Зона В (зеленого цвета) характеризуется потенциальным риском, который определяется как произведение частоты реализации сценариев аварий с взрывом

ТВС ($Q_{ЖС2.3}$) от двух резервуаров и условной вероятности гибели человека ($P_{гиб}$), оказавшегося в этой зоне: $R_{пот} = Q_{ЖС2.3} \times P_{гиб} = 2 \times 1,0 \times 10^{-6} \times 1,0 = 2,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Зона С (синего цвета) характеризуется потенциальным риском, который определяется как произведение частоты реализации сценариев аварий с взрывом ТВС ($Q_{ЖС2.3}$) от трех резервуаров и условной вероятности гибели человека ($P_{гиб}$), оказавшегося в этой зоне: $R_{пот} = Q_{ЖС2.3} \times P_{гиб} = 3 \times 1,0 \times 10^{-6} \times 1,0 = 3,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Зона D (красного цвета) характеризуется потенциальным риском, который определяется как произведение частоты реализации сценариев аварий с взрывом ТВС ($Q_{ЖС2.3}$) от четырех резервуаров и условной вероятности гибели человека ($P_{гиб}$), оказавшегося в этой зоне: $R_{пот} = Q_{ЖС2.3} \times P_{гиб} = 4 \times 1,0 \times 10^{-6} \times 1,0 = 4,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примера, границей потенциального риска гибели персонала является граница обвалования, так как согласно вышеприведенным расчетам (см. п. 2.4.2.1), за границами обвалования гибель персонала не прогнозируется.

Сценариями аварий, при реализации которых возможна гибель персонала в границах обвалования ($P_{гиб}=1,0$), являются сценарии ЖС2.2 «Пожар разлития», ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» для случая полного разрушения резервуара хранения опасного вещества.

Согласно таблице 2.13 настоящего учебного пособия частоты реализации сценариев аварий ЖС2.2 «Пожар разлития», ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» для случая полного разрушения резервуара хранения опасного вещества составляют: $Q_{ЖС2.2} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, $Q_{ЖС2.3} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Следовательно, потенциальный риск гибели персонала на территории резервуарного парка от реализации рассматриваемых сценариев аварий с полным разрушением резервуара хранения, ограниченный границами обвалования, составит:

$$R_{пот} = Q_{ЖС2.2} \times P_{гиб} + Q_{ЖС2.3} \times P_{гиб} = 2,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Индивидуальный риск

Согласно п. 42 [1] индивидуальный риск рекомендуется оценивать частотой поражения определенного человека (группы людей) в результате аварий в течение года. Величину индивидуального риска $R_{\text{инд}}^i$, для i -го индивида рекомендуется определять по формуле:

$$R_{\text{инд}}^i = \sum_{k=1}^G q_{ki} \cdot R_{\text{пот}}(x, y) \quad (2.44)$$

где q_{ki} – вероятность присутствия i -го индивида в k -ой области территории с учетом продолжительности действия поражающего фактора;

G – число областей, на которые условно можно разбить территорию, при условии, что величину потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно принять одинаковой.

Вероятность присутствия человека в определенной области территории производственного объекта рекомендуется определять исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории.

Так, для производственного персонала долю времени, при которой реципиент (субъект) подвергается опасности, можно оценить величиной 0,22 – для производственных объектов с постоянным пребыванием персонала (41 час в неделю) и 0,08 – для производственных объектов без постоянного пребывания персонала (менее 2 часов в смену).

Учитывая вышеизложенное, индивидуальный риск гибели персонала, который занимается обслуживанием резервуаров хранения (для примера, рассматриваемого в настоящем учебном пособии), составит:

$$R_{\text{инд}} = 0,08 \times R_{\text{пот}} = 0,08 \times 2,0 \times 10^{-6} = 1,6 \times 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Коллективный риск

Согласно п. 43 [1] величину коллективного риска рекомендуется определять по формуле:

$$R_{\text{кол}} = \sum_{j=1}^J N_{\Gamma}^j \cdot Q_j \quad (2.45)$$

где Q_j – частота j -го сценария, при котором ожидаемое количество погибших лиц равно N_{Γ}^j .

Предположим, что в рассматриваемом примере, количество человек в бригаде, которая занимается обслуживанием резервуаров хранения, составляет 2 человека. Тогда, коллективный риск гибели персонала, который занимается обслуживанием резервуаров хранения, составит:

$$R_{\text{кол}} = 2 \times Q_{\text{ЖС2.2}} + 2 \times Q_{\text{ЖС2.3}} = 2 \times 1,0 \times 10^{-6} + 2 \times 1,0 \times 10^{-6} = 4,0 \times 10^{-6} \text{ чел/год.}$$

Социальный риск

Согласно п. 44 [1] социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F(x)$, задаваемой уравнением:

$$F(x) = \sum_{i=1}^{I(x)} Q_i^x \quad (2.46)$$

где Q_i^x – ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций C_i , при которых гибнет не менее x человек;

$N(x)$ – число сценариев C_i , при которых гибнет не менее x человек.

Рекомендуется построение кривой социального риска в виде ступенчатой, непрерывной слева функции $F(x)$ со ступеньками в целочисленных значениях аргумента $x = [N_j]$, когда:

$$F([N_j]) = F(N_j) \cdot \frac{N_j}{[N_j]} \quad (2.47)$$

где $[N_j]$ – ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших N_j при реализации j -го сценария;

$F(N_j)$ – сумма частот сценариев с ожидаемым числом погибших не менее N_j .

Для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примера погибшие среди персонала предприятия (или персонала обслуживающей организации) возможны в случае их нахождения внутри обвалования в момент реализации сценариев аварий ЖС2.2 «Пожар разлития» или ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» с полным разрушением резервуара хранения опасного вещества.

Количество погибших для каждого из сценариев – до 2 чел.

Согласно таблице 2.13 настоящего учебного пособия частоты реализации сценариев аварий ЖС2.2 «Пожар разлития» и ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси» для случая полного разрушения резервуара хранения опасного вещества составляют: $Q_{ЖС2.2} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, $Q_{ЖС2.3} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Таким образом, согласно формуле (2.46) социальный риск гибели до 2 человек определяется как сумма частот реализации соответствующих сценариев аварий:

$$F(x) = Q_{ЖС2.2} + Q_{ЖС2.3} = 2 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Для рассматриваемого примера кривая социального риска гибели персонала резервуарного парка представлена на рисунке 2.6.

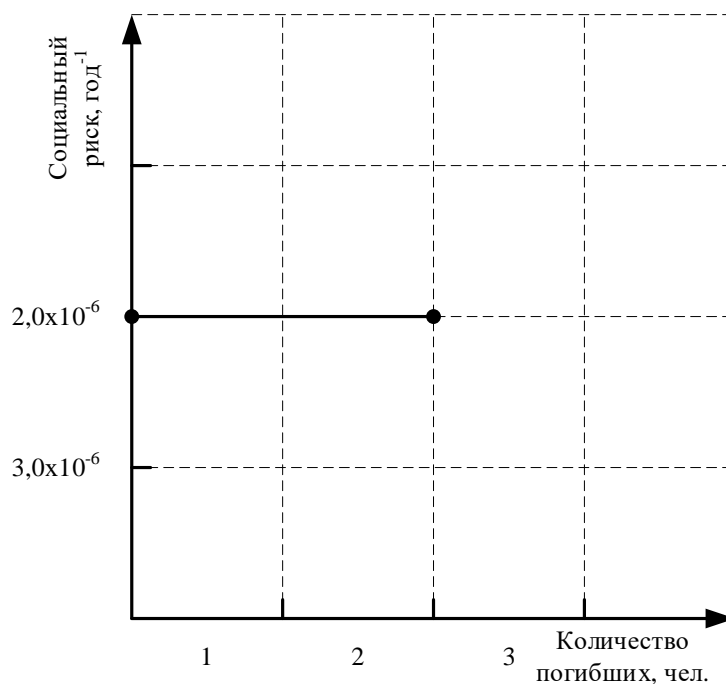


Рисунок 2.6 – Социальный риск гибели персонала резервуарного парка

Экономический (материальный) риск

Экономический риск можно представить в виде графика – зависимости частоты возникновения сценария аварии (или сценариев аварий) от величины ущерба, который может возникнуть в результате реализации указанного сценария аварии.

Также экономический риск можно представить как произведение частоты реализации сценария аварии и величины ущерба, который может возникнуть в результате реализации указанного сценария аварии.

Так, для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примера, согласно п. 2.4.2.2, ущерб от реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти $V=20000 \text{ м}^3$ и последующим пожаром разлива с полным выгоранием нефти составит $\text{П}_{\text{ЖС2.2}}=94048 \text{ тыс.руб.}$

Частота реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром, согласно п. 2.4.1, составляет $Q_{ЖС2.2}=1,0 \times 10^{-6}$ год⁻¹.

Таким образом, экономический риск реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром составляет:

$$R_{\text{эконом}} = P_{ЖС2.2} \times Q_{ЖС2.2} = 94048 \times 1,0 \times 10^{-6} = 0,094 \text{ тыс.руб./год.}$$

Аналогично осуществляется оценка экономического риска для других возможных сценариев аварий. Результаты расчета экономического риска для возможных сценариев аварий с частичной разгерметизацией и полным разрушением резервуара хранения нефти приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Результаты расчета экономического риска для возможных сценариев аварий

Показатель	Сценарий аварии					
	ЖС1.1	ЖС1.2	ЖС1.3	ЖС2.1	ЖС2.2	ЖС2.3
Частота реализации сценария аварии, год ⁻¹	$1,0 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Величина ущерба от реализации сценария аварии, тыс.руб.	68	80	80	14866	94048	94048
Экономический риск, тыс.руб./год	0,007	0,000	0,000	0,149	0,094	0,094

Экологический риск

Экологический риск можно представить как произведение частоты реализации сценария аварии и величины экологического ущерба, который может возникнуть в результате реализации указанного сценария аварии.

Так, для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примера, согласно п. 2.4.2.2, экологический ущерб от реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти $V=20000$ м³ и последующим пожаром разлива с полным выгоранием нефти составит $\Pi_{\text{эк}}=5258$ тыс.руб.

Частота реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром, согласно п. 2.4.1, составляет $Q_{\text{ЖС2.2}}=1,0 \times 10^{-6}$ год⁻¹.

Таким образом, экологический риск реализации сценария аварии ЖС2.2 «Пожар пролива» с полным разрушением резервуара хранения нефти и последующим пожаром составляет:

$$R_{\text{эк}} = \Pi_{\text{эк}} \times Q_{\text{ЖС2.2}} = 5258 \times 1,0 \times 10^{-6} = 0,005 \text{ тыс.руб./год.}$$

Аналогично осуществляется оценка экологического риска для других возможных сценариев аварий для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примера. Результаты расчета экологического риска для возможных сценариев аварий с частичной разгерметизацией и полным разрушением резервуара хранения нефти приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Результаты расчета экологического риска для возможных сценариев аварий

Показатель	Сценарий аварии					
	ЖС1.1	ЖС1.2	ЖС1.3	ЖС2.1	ЖС2.2	ЖС2.3
Частота реализации сценария аварии, год ⁻¹	$1,0 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Величина экологического ущерба от реализации сценария аварии, тыс.руб.	0	1	1	49	5258	5258

Экологический риск, тыс.руб./год	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
-------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2.5. Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных составных частей ОПО

2.5.1. Сравнение полученных значений риска с допустимыми значениями

Полученные в результате проведенного анализа риска количественные значения необходимо сравнить со значениями риска, которые установлены действующими нормативно правовыми актами.

Допустимыми нормативно регламентированными значениями риска являются:

- индивидуальный риск;
- социальный риск.

Так, согласно ст. 93 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [9] величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать 10^{-6} в год.

Для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска 10^{-6} в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до 10^{-4} в год. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать 10^{-8} в год.

Величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должна превышать 10^{-7} в год.

Для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины индивидуального пожарного риска 10^{-8} в год и (или) величины социального пожарного риска 10^{-7} в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до 10^{-6} в год и (или) социального пожарного риска до 10^{-5} в год соответственно. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

Для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примере сравнением установлено, что рассчитанные значения индивидуального и социального рисков, которые приведены в п. 2.4.3, не превышают допустимые нормативно регламентированные значения рисков.

2.5.2. Сравнение полученных значений риска со значениями риска аварий на других составных частях ОПО

Для выявления наиболее опасной составляющей (составной части) ОПО осуществляется сравнение рассчитанных количественных показателей риска, которые приведены в п. 2.4.3 настоящего учебного пособия, с количественными показателями риска для других составляющих ОПО.

Анализ наиболее опасных по последствиям и наиболее вероятных сценариев аварий

В рамках примера, который рассматривается в настоящем учебном пособии, наименее опасными по последствиям и наиболее вероятными сценариями аварий при разгерметизации (разрушении) резервуара хранения нефти являются сценарии ЖС1.1, ЖС2.1 «Утечка горючей жидкости без воспламенения».

При реализации указанных сценариев аварий утечка горючей жидкости осуществляется в границах обвалования, а максимальная площадь разлива горючей жидкости ограничена границами обвалования. Большая часть разлившейся горючей жидкости может быть собрана на этапе ликвидации последствий аварии.

Пострадавшие среди обслуживающего персонала маловероятны, так как существует возможность своевременно покинуть зоны действия поражающих факторов, основным из которых является токсическое воздействие. Необходимо отметить, что согласно таблице 2.2 и [17] нефть относится к веществам 3 класса опасности (умеренно опасным веществам).

Более опасными по последствиям по сравнению со сценариями ЖС1.1, ЖС1.2 сценариями аварий при разгерметизации (разрушении) резервуара хранения нефти являются сценарии ЖС1.2, ЖС2.2 «Пожар разлива».

При реализации указанных сценариев аварий после утечки горючей жидкости в границах обвалования и возникновении источника зажигания в зоне распространения облака паровоздушной смеси возможно возгорание разлива. При этом площадь пожара соответствует площади разлива, а максимальная площадь пожара ограничена границами обвалования.

Основным поражающим фактором указанных сценариев аварий является термическое воздействие от пожара разлива.

На основании вышеизложенного при реализации сценариев ЖС1.2, ЖС2.2 «Пожар разлива» возможны пострадавшие, прежде всего персонал, который в

момент разлива и последующего возгорания находился в границах обвалования и не смог своевременно покинуть зону разлива. Поражения различной степени тяжести может также получить персонал, который находился в момент аварии в непосредственной близости в зонах термического воздействия от пожара разлива.

Термическое воздействие пожара разлива может также оказать на рядом расположенные конструкции, здания, сооружения и привести к эскалации аварии.

Наиболее опасными по последствиям и наименее вероятными сценариями аварий при разгерметизации (разрушении) резервуара хранения нефти являются ЖС1.3, ЖС2.3 «Взрыв паровоздушной смеси».

Реализация указанных сценариев обусловлена воспламенением с задержкой по времени образовавшегося облака паровоздушной смеси от источника зажигания в зоне распространения облака. Как правило, после воспламенения паровоздушного облака в дефлаграционном режиме, происходит воспламенение и последующее горение разлива.

Основным поражающим фактором сценариев аварий ЖС1.3, ЖС2.3 является барическое воздействие от сгорания паровоздушного облака в дефлаграционном режиме, а возможным последующим – термическое воздействие от пожара пролива.

Поражения различной степени тяжести может получить персонал, который находился в момент аварии в непосредственной близости в зонах барического воздействия избыточного давления ударной волны при сгорании паровоздушного облака в дефлаграционном режиме.

Барическое воздействие ударной волны может также оказать на рядом расположенные конструкции, здания, сооружения и привести к эскалации аварии.

2.5.3. Сравнение с фоновым риском аварий или фоновым риском гибели людей

Полученные в результате проведенного анализа риска количественные значения необходимо сравнить с фоновыми значениями риска, которые формируются соответствующими органами исполнительной власти, например, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзором).

Так, согласно сайту Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (www.gosnadzor.ru), значения фоновых рисков гибели (индивидуального риска) в отраслях нефтегазового комплекса составляют:

2018 год – $8,2 \times 10^{-5}$ год⁻¹;

2019 год – $7,8 \times 10^{-5}$ год⁻¹.

Для рассматриваемого в настоящем учебном пособии примере сравнением установлено, что рассчитанные значения индивидуального риска, которые приведены в п. 2.4.3, не превышают фоновые значения индивидуального риска гибели.

2.5.4. Сравнение со значениями риска аварий, полученными с учетом фактических отступлений от требований промышленной безопасности

В случаях разработки обоснования безопасности опасного производственного объекта, а также при отступлении от установленных требований промышленной безопасности и реализации компенсирующих мероприятий, рекомендуется осуществлять сравнение изменения количественных показателей риска до и после реализации отступлений (или компенсирующих мероприятий).

Рекомендуется также сравнение количественных показателей риска, полученных в результате отступлений от установленных требований промышленной безопасности, с допустимыми и фоновыми значениями рисков.

2.6. Реализация мер по снижению риска аварий

Как было указано ранее (см. п. 1.2.6), основными направлениями по снижению риска аварий являются:

- а) меры, снижающие возможность возникновения аварий;
- б) меры, снижающие тяжесть последствий возможных аварий;
- в) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задание 1.

Определить количество опасного вещества, участвующего в аварии при частичной разгерметизации M_1 (время истечения 1 час) и полном разрушении M_2 резервуара вертикального стального. Дефектное отверстие располагается в самой нижней точке резервуара, в районе сварного шва соединения стенки резервуара с его днищем ($h_{hol}=0$ м). Характеристики резервуаров (диаметр, высота) приведены в таблице 2.1 настоящего учебного пособия.

Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета количества опасного вещества, участвующего в аварии

№ п/п	Объем резервуара, м ³	Плотность жидкости, кг/м ³	Степень заполнения резервуара	Диаметр дефектного отверстия, мм
1.	100	850	50%	20
2.	200	840	60%	30
3.	300	830	70%	40
4.	400	820	80%	50
5.	700	810	90%	60
6.	1000	800	50%	70
7.	2000	790	60%	80
8.	3000	780	70%	90
9.	5000	770	80%	100
10.	10000	760	90%	150

Задание 2.

Произошло полное разрушение резервуара объемом $V=25$ м³ для хранения горючей жидкости с выбросом опасного вещества на спланированную грунтовую поверхность. Степень заполнения резервуара 90%. Температура окружающего воздуха плюс 20°С.

Определить площадь разлива горючей жидкости, а также количество опасного вещества, испарившегося со свободной поверхности разлития. Время испарения принять равным $\tau=3600$ с.

Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета площади разлива и количества испарившегося опасного вещества

№ п/п	Наименование опасного вещества	Плотность жидкости, кг/м ³	Молярная масса жидкости, кг/кмоль	Давление насыщенных паров при 20°С, кПа
1.	Изобутиловый спирт	801	74,12	4,4
2.	Изопропилбензол	861	120,20	99,08
3.	Изопропиловый спирт	785	60,09	32,4
4.	Метиловый спирт	793	32,04	96,0
5.	Сероуглерод	293	76,14	298
6.	Стирол	780	104,14	6,67
7.	Толуол	810	92,14	3,3
8.	Уксусная кислота	1049	60,05	1,6
9.	Хлорбензол	1066	112,56	1,06
10.	Этилбензол	867	106,16	3,8
11.	Этиловый спирт	735	46,07	43,9
12.	Ацетон	820	58,08	185

Задание 3.

Произошла утечка горючей жидкости и последующее воспламенение разлития. Определить значение интенсивности теплового излучения q (кВт/м²) от пожара пролива на заданном расстоянии от центра пролива.

Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчета интенсивности теплового излучения от пожара пролива на заданном расстоянии от центра пролива

№ п/п	Наименование опасного вещества	Площадь пролива, м ²	Расстояние от центра пролива, м
1.	Пропан	300	10
2.	Бутан	400	20

3.	Бензин	500	30
4.	Дизельное топливо	600	40
5.	Нефть	700	50
6.	Пропан	800	60
7.	Бутан	900	70
8.	Бензин	1000	80
9.	Дизельное топливо	1200	90
10.	Нефть	2000	100

Задание 4.

Согласно п. 7.2 [31] в результате аварии на объекте произошло полное разрушение технологического оборудования, содержащего взрывопожароопасное вещество, с последующим его разливом на спланированную грунтовое покрытие.

В течение 1 часа, при температуре окружающего воздуха плюс 20°C и скорости ветра не более 1 м/с, происходило испарение разлившегося опасного вещества и формирование взрывопожароопасной топливно-воздушной смеси (ТВС).

Для консервативных расчетов принимаем, что образование источника зажигания произошло в центре облака ТВС.

Необходимо определить массу испарившегося опасного вещества, а также параметры воздушной ударной волны (избыточное давление и импульс фазы сжатия) на расстоянии r от места аварии и оценить повреждения зданий, сооружений и персонала на заданном расстоянии.

Исходные данные представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Исходные данные

№ п/п	Объект	Объем вещества, участвующего в аварии, м ³	Наименование опасного вещества	Агрегатное состояние смеси
1.	Площадка хранения резервного топлива	500 м ³	Дизтопливо	Жидкость
2.	Емкость хранения	15 м ³	Метанол	Жидкость

	метанола			
3.	Резервуарный парк	8000 м ³	Нефть	Жидкость
4.	Емкость сбора и хранения конденсата	15 м ³	Конденсат газа	Жидкость
5.	Емкость хранения одоранта (этантиола)	5 м ³	Одорант (этантиол)	Жидкость

Таблица 3.5 – Исходные данные

№ п/п	T, К	c _г , кг/м ³	P _н , кПа	q _г , кДж/кг	r	Окружающее пространство
1.	293	0,2	0,22	43419	100	средне загроможденное
2.	293	0,2	12,8	23839	50	средне загроможденное
3.	293	0,2	66,7	44000	30	средне загроможденное
4.	293	0,2	16,2	44000	60	средне загроможденное
5.	293	0,2	21,5	44000	40	средне загроможденное

где T – температура окружающей среды;

c_г – концентрация горючего в смеси;

M_г – масса горючего вещества в облаке, участвующая в создании поражающих факторов взрыва;

q_г – удельная теплота сгорания топлива;

r – расстояний от места аварии.

Задание 5.

Оценить ущерб от аварии на опасном производственном объекте хранения опасного вещества – резервуарном парке. В результате аварии происходит полное разрушение резервуара, заполненного на 90% опасным веществом с последующим разливом опасного вещества в обвалование, воспламенением и полным выгоранием разлившегося опасного вещества. Стоимость основных

фондов и товарно-материальных ценностей (опасного вещества) принять по аналогам. Косвенный ущерб принять равным нулю.

Исходные данные для проведения расчетов приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные данные для расчета ущерба от аварии на опасном производственном объекте

№ п/п	Объем резервуара, м ³	Опасное вещество	Площадь обвалования, м ²
1.	1000	метанол	400
2.	2000	керосин авиационный ТС-1	1000
3.	3000	бензин АИ-92	2000
4.	5000	дизельное топливо (летнее)	3000
5.	10000	нефть товарная	4000
6.	1000	метанол	800
7.	2000	керосин авиационный ТС-1	2000
8.	3000	бензин АИ-92	2400
9.	5000	дизельное топливо (летнее)	5000
10.	10000	нефть товарная	8000

При расчете экологического ущерба удельные выбросы опасных веществ при горении нефти и нефтепродуктов, а также скорости выгорания опасных веществ принять в соответствии с таблицами 5.1, 5.2 [30].

Сведения об удельных выбросах опасных веществ при горении нефти и нефтепродуктов, а также скорости выгорания опасных веществ приведены в таблицах 3.7-3.8.

Таблица 3.7 – Удельные выбросы опасных веществ при горении нефти и нефтепродуктов

Опасное вещество	Удельный выброс опасного вещества, кг/кг		
	Нефть	Дизельное топливо	Бензин
Диоксид углерода (CO ₂)	1,0000	1,0000	1,0000
Оксид углерода (CO)	0,0840	0,0071	0,3110
Сажа (С)	0,1700	0,0129	0,0015
Оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	0,0069	0,0261	0,0151

Сероводород (H ₂ S)	0,0010	0,0010	0,0010
Оксид серы (в пересчете на SO ₂)	0,0278	0,0047	0,0012
Синильная кислота (HCN)	0,0010	0,0010	0,0010
Формальдегид (HCHO)	0,0010	0,0011	0,0005
Органические кислоты (в пересчете на CH ₃ COOH)	0,0150	0,0036	0,0005

Таблица 3.8 – Скорости выгорания нефти и нефтепродуктов

Опасное вещество	Скорость выгорания, кг/м² в час	Линейная скорость выгорания, мм/мин
Нефть	108	2,04
Мазут	72	1,18
Дизельное топливо	198	4,18
Керосин	172	3,84
Бензин	191	4,54

Ставки платы за выброс в атмосферный воздух 1 тонны загрязняющего вещества принять согласно постановлению Правительства РФ №913 от 13.09.2016 с учетом повышающих коэффициентов, установленных соответствующими постановлениями Правительства РФ.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение понятию «анализ риска аварий».
2. Дайте определение понятию «авария».
3. Дайте определение понятию «инцидент».
4. Дайте определение понятию «качественная оценка риска аварии».
5. Дайте определение понятию «количественная оценка риска аварии».
6. Перечислите основные случаи, в которых разработка анализа риска аварий является обязательной.
7. Сформулируйте основную цель анализа риска аварий.
8. Перечислите основные задачи анализа риска аварий на стадии обоснования инвестиций, проектирования, подготовки технической документации или размещения опасного производственного объекта.
9. Перечислите основные задачи анализа риска аварий на стадиях ввода в эксплуатацию, консервации или ликвидации опасного производственного объекта.
10. Перечислите основные задачи анализа риска аварий на стадиях эксплуатации, реконструкции или технического перевооружения опасного производственного объекта.
11. Перечислите основные этапы анализа риска аварий.
12. Что включает в себя этап «Планирование и организация работ» при проведении анализа риска аварий?
13. Что включает в себя этап «Сбор сведений и описание опасного производственного объекта» при проведении анализа риска аварий?
14. Что включает в себя этап «Идентификация опасностей аварий» при проведении анализа риска аварий?
15. Что включает в себя этап «Оценка риска аварий на ОПО и (или) его составных частях» при проведении анализа риска аварий?

16. Что включает в себя этап «Установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных составных частей ОПО» при проведении анализа риска аварий?

17. Что включает в себя этап «Разработка (корректировка) мер по снижению риска аварий» при проведении анализа риска аварий?

18. В чем отличие допустимого уровня риска и фонового уровня риска?

19. Какими нормативными документами устанавливается допустимый уровень пожарного индивидуального риска?

20. Как и кем устанавливается (получается) значение фонового риска?

21. Какими нормативными документами регламентируется идентификация опасного производственного объекта для целей регистрации опасного производственного объекта в государственном реестре опасных производственных объектов?

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основные термины и определения, связанные с анализом опасностей и оценкой риска аварий на опасных производственных объектах приведены в приложении № 1 Руководства по безопасности [1].

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (ст. 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Анализ риска аварий (анализ опасностей и оценка риска аварий) – взаимосвязанная совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий для обеспечения промышленной безопасности ОПО.

Взрыв – неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям.

Допустимый риск аварии – установленные либо полученные согласно формализованной установленной процедуре значения риска аварии на ОПО, превышение которых характеризует угрозу возникновения аварии.

Идентификация опасностей аварии – выявление источников возникновения аварий и определение соответствующих им типовых сценариев аварии.

Инцидент – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на ОПО, отклонение от установленного режима технологического процесса (ст. 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Качественная оценка риска аварии – описание качественных характеристик и признаков возможности возникновения и соответствующей тяжести последствий реализации аварии для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды.

Количественная оценка риска аварии – определение значений числовых характеристик случайной величины ущерба (человеку, имуществу и окружающей среде) от аварии на ОПО. В количественной оценке риска аварии оцениваются значения вероятности (частоты) и соответствующей степени тяжести последствий реализации различных сценариев аварий для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды (ст. 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Опасность аварии – возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрыва и (или) выброса опасных веществ на ОПО. Опасность аварии на ОПО обусловлена наличием на них опасных веществ, энерго-массообменными свойствами технологических процессов, ошибками проектирования, строительства и эксплуатации, отказами технических устройств и их систем, а также нерасчетными (запроектными) внешними природными, техногенными и антропогенными воздействиями на ОПО.

Опасные вещества – воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, перечисленные в приложении 1 к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Опасный производственный объект – предприятие или его цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в приложении 1 к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Оценка риска аварии – определение качественных и (или) количественных характеристик опасности аварии.

Промышленная безопасность ОПО (промышленная безопасность, безопасность ОПО) – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на ОПО и последствий указанных аварий (ст. 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Показатели опасности – характеристики опасности аварии на ОПО (качественные или количественные), имеющие упорядоченные значения, соответствующие уровню опасности.

Показатели риска – количественные показатели опасности.

Поражающие факторы аварии – физические процессы и явления, возникающие при разрушении сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемых взрыве и (или) выбросе опасных веществ и определяющие термическое, барическое и иное энергетическое воздействие, поражающее человека, имущество и окружающую среду.

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО и соответствующую ей тяжесть последствий.

Технический риск – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования ОПО.

Индивидуальный риск – ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии.

Потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке ОПО и прилегающей территории.

Коллективный риск (или ожидаемые людские потери) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени.

Социальный риск (или риск поражения группы людей) – зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N . Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей F/N -кривой.

Ожидаемый ущерб – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии за определенный период времени.

Материальный риск (или риск материальных потерь) – зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых причинен ущерб на определенном уровне потерь не менее G , от количества этих потерь G . Характеризует экономическую тяжесть последствий реализации опасностей аварий и представляется в виде соответствующей F/G -кривой.

Составные части (составляющие) ОПО – участки, установки, цехи, хранилища, сооружения, технические устройства или составляющие ОПО, объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или территориально-административному принципу и входящие в состав ОПО.

Степень опасности аварии (степень аварийной опасности) – сравнительная мера опасности, характеризующая относительную возможность возникновения и тяжесть последствий аварий на ОПО и (или) его составных частях.

Сценарий развития аварии – последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным иницирующим (исходным) событием, приводящих к возникновению поражающих факторов аварии и причинению ущерба от аварии людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды.

Сценарий наиболее вероятной аварии (наиболее вероятный сценарий аварии) – сценарий аварии, вероятность реализации которого максимальна за определенный период времени (месяц, год).

Сценарий наиболее опасной по последствиям аварии (наиболее опасный по последствиям сценарий аварии) – сценарий аварии с наибольшим ущербом по людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды.

Требования промышленной безопасности – условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», других федеральных законах, принимаемых в соответствии с ними нормативных правовых актов Президента РФ, нормативных правовых актов Правительства РФ, а также федеральных норм и правил в области промышленной безопасности (Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Типовой сценарий аварии – сценарий аварии после разрушения отдельного сооружения и (или) технического устройства, а также возникновения неконтролируемого взрыва и (или) выброса опасных веществ из единичного технологического оборудования (блока) с учетом регламентного срабатывания имеющихся систем противоаварийной защиты, локализации аварии и противоаварийных действий персонала.

Угроза аварии – актуализированная опасность аварии, характеризующая непосредственно предаварийное состояние ОПО. Угроза аварии наступает при необоснованных отступлениях от требований промышленной безопасности, а также в случаях приближения внешних техногенных, антропогенных и природных воздействий к предельным проектным нагрузкам.

Ударная волна – распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью в газе, жидкости или твердом теле тонкая переходная область (фронт), в которой происходит резкое увеличение давления, плотности и температуры.

Ущерб от аварии – потери (убытки) в производственной и непромышленной сферах жизнедеятельности человека, а также при

негативном изменении окружающей среды, причиненные в результате аварии на ОПО объекте и исчисляемые в натуральной (денежной) форме.

Фоновый риск аварии – численное значение риска аварии на ОПО (или составной части ОПО), определенное с учетом статистики за последние 5-10 лет.

Эскалация аварии – последовательное возникновение аварии, причинами которых являются поражающие факторы аварии на соседних составных частях ОПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Серия 27. Выпуск 16 – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. – 56 с.
2. Руководство по безопасности «Методика анализа риска на опасных производственных объектах нефтегазодобычи». Серия 08. Выпуск 28 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2019.
3. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности». Серия 09. Выпуск 45 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2019.
4. Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов». Серия 08. Выпуск 30 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016.
5. ГОСТ 17032-2010. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084951> (дата обращения 26.10.2021).
6. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200138636> (дата обращения 26.10.2021).

7. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 года № 529 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/573264122> (дата обращения 04.11.2021).

8. СП 155.13130.2014. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200108948> (дата обращения 26.10.2021).

9. Федеральный закон от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения 04.11.2021).

10. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. – М.: ФГБУ «ВНИИПО» МЧС России, 2006 – 93 с.

11. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2020 года № 471 «Об утверждении Требований к регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов и ведению государственного реестра опасных производственных объектов». [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/573140185> (дата обращения 27.10.2021).

12. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте. Учебное пособие. Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2003. – 352 с.

13. Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе России. Учебное пособие. Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюка. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2007. – 310 с.

14. Красных Б.А., Мартынюк В.Ф., Сергиенко Т.С., Сорокин А.А., Феоктистов А.А., Нечаев А.С. Анализ аварий и несчастных случаев на объектах

газового надзора. Учебное пособие. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2003. – 320 с.

15. Аварии и несчастные случаи в нефтяной и газовой промышленности России. Под ред. Ю.А. Дадонова, В.Я. Кершенбаума. – М.: АНО «Технонефтегаз», 2001. – 214 с.

16. ГОСТ 12.1.005-88*. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 26.10.2021).

17. ГОСТ 12.1.007-76*. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения 26.10.2021).

18. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том I. Органические вещества. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. мед. наук Э.Н. Левиной – Л.: Химия, 1976. – 592 с.

19. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том II. Органические вещества. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. мед. наук Э.Н. Левиной – Л.: Химия, 1976. – 624 с.

20. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементарноорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной – Л.: Химия, 1977. – 608 с.

21. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.

22. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 2 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 384 с.

23. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200028839> (дата обращения 27.10.2021).

24. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24 января 2018 года № 29 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические рекомендации по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса». [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556353126> (дата обращения 03.11.2021).

25. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»: СТО Газпром 2-2.3-351-2009: утв. распоряжением ОАО «Газпром» № 83 от 30.03.2009: ввод в действие с 30.12.2009. – Москва: ООО «Газпром-экспо», 2009. – 377 с.

26. Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» [Электронный ресурс] // Консорциум «Кодекс»: сайт. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения 05.10.2021).

27. Стаскевич Н.Л., Видгорчик Д.Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. – Л.: Недра, 1986. – 543 с.

28. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. №1971-ст: введен взамен ГОСТ Р 12.3.047-98: дата введения – 2014-01-01: разработан

Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России (ФГБУ «ВНИИПО» МЧС России). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 62 с. – Текст: непосредственный.

29. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (РД 03-496-02). Серия 03. Выпуск 19. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 40 с.

30. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов. – Самара, 1996. – 14 с.

31. Мартынович В.Л. Оценка поражающих факторов аварий на взрывопожароопасных производствах: учебное пособие / В.Л. Мартынович, М.В. Омельчук, Л.Б. Хайруллина; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень: ТИУ, 2018. – 78 с.

Размещается в сети Internet на сайте ГАУ Северного Зауралья
<http://www.tsaa.ru/documents/publications/2022/oblozhka-martyinovich-analiz-riska-avarij-na-opasnyix-proizvodstvennyix-obektax.pdf>,
в научной электронной библиотеке eLIBRARY, ИТАР-ТАСС, РГБ, доступ свободный

Издательство электронного ресурса
Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья».
Заказ №1096 от 04.05.2022; авторская редакция
Почтовый адрес: 625003, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Республики, 7.
Тел.: 8 (3452) 290-111, e-mail: rio2121@bk.ru