

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

А. Д. Галеев, С. И. Поникаров

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Учебное пособие

Казань
Издательство КНИТУ
2017

УДК 66.013.8(075)
ББК 35.11:30н.я7
Г15

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:

*зав. лаб. технологий нефтегазопереработки ОАО «ВНИИУС»,
канд. техн. наук Р. Г. Шакирзянов
зам. директора ООО «Эксперт Бюро», канд. техн. наук И. Р. Хайруллин*

Галеев А. Д.

Г15 Анализ риска аварий на опасных производственных объектах : учебное пособие / А. Д. Галеев, С. И. Поникаров; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.

ISBN 978-5-7882-

Излагаются основные положения теории анализа риска аварий на объектах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности. Рассмотрены методология анализа, оценки риска аварий, приведены принципы управления риском.

Предназначено для студентов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» и аспирантов направления подготовки 20.06.01 «Техносферная безопасность», изучающих дисциплину «Анализ риска аварий на опасных производственных объектах». Будет также полезно студентам других направлений, изучающим вопросы обеспечения безопасности технологических процессов и производств.

Подготовлено на кафедре машин и аппаратов химических производств.

**УДК 66.013.8 (075)
ББК 35.11:30н.я7**

ISBN 978-5-7882-

© Галеев А. Д., Поникаров С. И., 2017

© Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и интенсификация промышленных производств в современных условиях неизбежно ведет к возрастанию числа аварий и масштабов последствий, связанных с неконтролируемым выбросом токсичных или взрывоопасных веществ в атмосферу. В связи с этим возникает необходимость использования научно-обоснованных подходов для обеспечения безопасности людей. Составной частью управления промышленной безопасностью является анализ риска аварий, который предполагает получение количественных оценок потенциальной опасности промышленных объектов. Основу методологии риска составляет определение последствий и вероятности нежелательных событий.

Результаты анализа риска используются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов (далее – ОПО), экспертизе промышленной безопасности, обосновании безопасности, анализе проектных решений, страховании ответственности, экономическом анализе безопасности по критериям стоимость–безопасность–выгода, оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и при других процедурах, связанных с анализом безопасности.

Основная цель анализа риска аварий — установление степени аварийной опасности ОПО и (или) его составных частей для заблаговременного предупреждения угроз аварий жизни и здоровью человека, имуществу и окружающей среде; разработка, плановая реализация и своевременная корректировка обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии 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.

Анализ риска предполагает процедуру нахождения величины риска от ОПО, сравнение ее с допустимым значением и, в случае превышения, переход к разработке мероприятий по снижению уровня риска.

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ РИСКА

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

Анализ риска аварии (анализ опасностей и оценка риска аварий) – процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на опасном производственном объекте для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей природной среды.

Оценка риска аварии – процесс, используемый для определения возможности и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий для здоровья человека, имущества и/или окружающей природной среды. Оценка риска включает описание и определение качественных и/или количественных показателей, характеристик, признаков возможности возникновения и тяжести последствий реализации инцидентов, аварий. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий и их сочетания.

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Инцидент – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на ОПО, отклонение от установленного режима технологического процесса.

Сценарий аварии – последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным иницирующим (исходным) событием, приводящих к определенным опасным последствиям аварии.

Поражающий фактор аварии – термическое, барическое (ударно-волновое), токсическое и иное воздействие, проявляющееся при возникновении аварии и способное привести к ущербу.

К категории ОПО относятся объекты, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются в указанных в Приложении 2 Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» количествах опасные вещества следующих видов:

а) воспламеняющиеся вещества – газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся

воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20°C или ниже;

б) окисляющие вещества – вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

в) горючие вещества – жидкости, газы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления;

г) взрывчатые вещества – вещества, которые при определенных видах внешнего воздействия способны на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

д) токсичные вещества – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок – от 15 до 200 мг на килограмм включительно;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу – от 50 до 400 мг на килограмм включительно;

- средняя смертельная концентрация в воздухе – от 0,5 до 2 мг на литр включительно;

е) высокотоксичные вещества – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок – не более 15 мг на килограмм;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу – не более 50 мг на килограмм;

- средняя смертельная концентрация в воздухе – не более 0,5 мг на литр;

ж) вещества, представляющие опасность для окружающей среды, – вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 ч – не более 10 мг на литр;

- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 мг на литр;

- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 ч – не более 10 мг на литр;

2) используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 мегапаскала:

а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии);

б) воды при температуре нагрева более 115°C;

в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 мегапаскала;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 кг и более;

5) ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

К ОПО не относятся объекты электросетевого хозяйства.

Составляющие ОПО – участки, установки, цеха, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или территориально-административному принципу и входящие в состав опасного производственного объекта.

Промышленная безопасность ОПО – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на ОПО и последствий указанных аварий.

Опасность аварии – угроза, потенциальный источник вреда, возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или)

окружающей среде вследствие аварии на опасном производственном объекте. Опасности аварий на ОПО связаны с возможностью разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрывом и (или) выбросом опасных веществ с последующим причинением ущерба человеку, имуществу и (или) нанесением вреда окружающей природной среде.

Опасные вещества – воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, перечисленные в Приложении 1 к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97.

Химически опасный объект (ХОО) – объект, при аварии на котором может произойти массовое отравление людей, сельскохозяйственных животных и растений либо химическое заражение окружающей природной среды химическими веществами в количествах, превышающих естественный уровень их содержания в среде.

Эскалация аварии («эффект домино») – возникновение аварии на сооружении (технологической установке) ОПО с выбросом опасного вещества вследствие аварии на ином (соседнем) сооружении (технологической установке).

2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АНАЛИЗА РИСКА

Анализ риска должен дать ответы на три основных вопроса:

1. Что плохого может произойти? (Идентификация опасностей).
2. Как часто это может случаться? (Анализ частоты).
3. Какие могут быть последствия? (Анализ последствий).

Процесс проведения анализа риска включает следующие основные этапы:

- планирование и организация работ, сбор сведений;
- идентификация опасностей;
- оценка риска аварии на ОПО и (или) его составных частях;
- установление степени опасности аварий на ОПО и (или) определение наиболее опасных (с учетом возможности возникновения и тяжести последствий аварий) составных частей ОПО;
- разработка (корректировка) мер по снижению риска аварий.

Концептуальная основа анализа техногенного риска может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1.

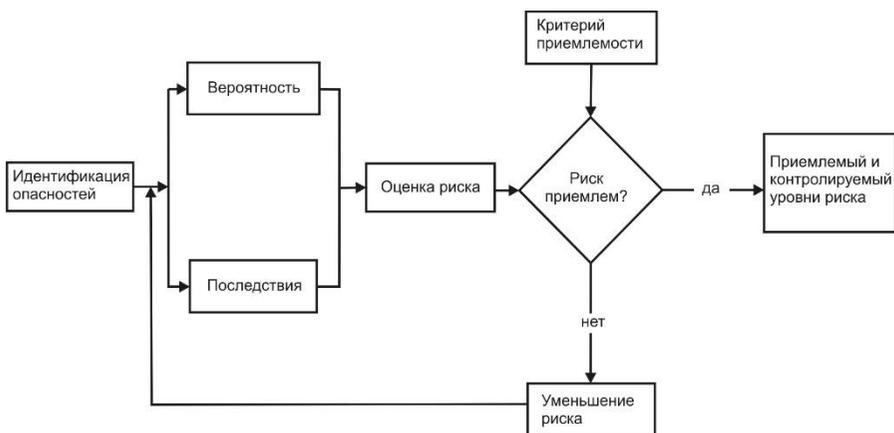


Рисунок 1. Блох-схема анализа техногенного риска

Планирование и организация работ

При планировании и организации работ 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 аварии и (или) иные обоснованные показатели безопасной эксплуатации ОПО;

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

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 условиями 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:

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

- 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);

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

- определение степени опасности аварий для выбора наиболее безопасных проектных решений;

- обоснование, корректировка и модернизация организационных и технических мер безопасности;

- 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 аварии:

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

- 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 аварии:

- 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;

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

- 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;

- разработка рекомендаций по обеспечению безопасности и, при необходимости, корректировке мер по снижению риска аварий;

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

Идентификация опасностей

Основные задачи этапа идентификации опасностей – выявление и четкое описание всех источников опасностей и сценариев их реализации.

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.

Оценка риска

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 осуществить качественную и (или) количественную оценку:

а) возможности возникновения и развития инцидентов и аварий;

б) тяжести последствий и (или) ущерба от возможных инцидентов и аварий;

в) опасности аварии и связанной с ней угрозы в значениях показателей риска.

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

а) статистические данные по аварийности, по 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, энергетики и транспорта.

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.

С целью сравнения и полноты оценки опасности среди всего разнообразия рассмотренных сценариев рекомендуется привести результаты расчета для сценариев:

- аварий с наиболее тяжелыми последствиями - как наиболее неблагоприятного варианта развития аварии (как правило, наименее вероятного) и наиболее опасного по последствиям аварийного воздействия. Такие сценарии характеризуются, например, полным разрушением единичной емкости или резервуара (или группы резервуаров) с максимальным выбросом опасного вещества, несвоевременными действиями персонала по локализации аварии и неблагоприятными топографическими и метеоусловиями для распространения опасных веществ;

- наиболее вероятных (типичных) аварий - вариантов развития аварии с менее тяжелыми последствиями, но более вероятными условиями развития аварии, а также тех сценариев аварий, которые наиболее полно характеризуют имеющиеся опасности и специфику объекта. Такие сценарии связаны, например, с частичным разрушением емкостного оборудования или трубопроводов с утечкой опасных веществ из отверстий диаметром от 10 до 30 мм, с выбросом и распространением опасных веществ при метеоусловиях, наиболее вероятных для данной местности.

Установление степени опасности аварий на ОПО

На этапе установления степени опасности аварий на ОПО рекомендуется проводить сопоставительные сравнения значений полученных показателей опасности и оценок риска аварии с:

- а) допустимым риском аварии и (или) уровнем, обоснованным на этапе планирования и организации анализа риска аварий;
- б) значениями риска аварии на других составных частях ОПО;
- в) фоновым риском аварии для данного типа ОПО или аналогичных ОПО, с фоновым риском гибели людей в техногенных происшествиях;
- г) значениями риска аварии, полученными с учетом фактических отступлений от требований промышленной безопасности и возможного и фактического внедрения компенсирующих мероприятий.

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

Разработка рекомендаций по уменьшению риска

На этапе разработки мер по снижению риска аварий рекомендуется в качестве первоочередных планировать и разрабатывать:

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

Выбор рекомендаций по снижению риска аварии имеет следующие приоритеты:

- а) меры, снижающие возможность возникновения аварии, 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 аварии;
 - уменьшение вероятности развития аварии по наиболее опасным сценариям возможной аварии;
 - увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов аварии;
- в) меры обеспечения готовности к локализации и ликвидации последствий аварий.

Для оптимизации разработанных рекомендаций по снижению риска аварии рекомендуется использовать следующую альтернативу:

а) в рамках доступных ресурсов обеспечить максимальное снижение риска аварии при эксплуатации ОПО;

б) обеспечить снижение риска аварий до требуемого уровня (в том числе допустимого риска аварии) при минимальных затратах ресурсов.

Для систем управления промышленной безопасностью рекомендуется преимущественно использовать способ «а» при краткосрочном и способ «б» при среднесрочном и долгосрочном планировании безопасной эксплуатации ОПО.

В качестве приоритетных способов предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий рекомендуется использовать:

- пассивную защиту эффективным расстоянием (включая физические барьеры) от опасного воздействия поражающих факторов возможных аварий на стадии проектирования ОПО;

- активную защиту от перерастания аварийной опасности в угрозу аварии для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды на стадии эксплуатации ОПО.

Среди решений, направленных на уменьшение тяжести последствий аварий, выделяют также ограничение площадей возможных аварийных разливов за счет возведения инженерных сооружений (системы аварийных лотков, дренажных емкостей), повышение взрывозащищенности зданий и сооружений на территории ОПО, установку датчиков загазованности, информирование персонала об опасностях аварий, выбор несущих конструкций, запорной арматуры и т.д.

3. ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО и тяжесть ее последствий. Основными количественными показателями риска аварии являются:

- **технический риск** – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования ОПО;

- **индивидуальный риск** – частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий;

- **потенциальный территориальный риск** – пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня;

- **коллективный риск** – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенное время;

- **социальный риск, или F/N кривая** – зависимость частоты возникновения событий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N . Характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей и представляется в виде соответствующей F/N -кривой;

- **ожидаемый ущерб** – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии за определенное время.

- **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 материальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей аварий и представляется в виде соответствующей F/G -кривой.

Ниже даны краткие характеристики основных количественных показателей риска.

1. При анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств, систем обнаружения утечек, автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП), систем противоаварийной защиты выделяют технический риск, показатели которого определяются соответствующими методами теории надежности технологических систем и функциональной безопасности систем противоаварийной автоматической защиты, систем управления технологическим процессом в соответствии с серией ГОСТ Р МЭК

61508/61511. Теория надежности (ТН) – научная дисциплина, в которой разрабатываются и изучаются методы обеспечения эффективности работы объектов (изделий, устройств, систем и т.п.) в процессе эксплуатации. В ТН вводятся показатели надёжности объектов, в том числе уровень полноты безопасности противоаварийной автоматической защиты, обосновываются требования к надежности с учетом экономических и других факторов, разрабатываются рекомендации по обеспечению заданных требований к надежности на этапах проектирования, производства, хранения и эксплуатации. Количественные показатели надежности вводят в ТН на основе построения математических моделей рассматриваемых объектов. В ТН используются разнообразные математические методы; особое место занимают методы теории вероятностей и математической статистики. Это связано с тем, что события, описывающие показатели надежности (моменты появления отказов, длительность ремонта и т.д.), часто являются случайными. Для расчета вероятности безотказной работы объекта в течение некоторого времени используются аналитические методы теории случайных процессов. Расчет количественных показателей надежности объектов с учетом возможности восстановления отказавших устройств во многом аналогичен расчету систем массового обслуживания теории. Аналитические методы расчета надежности сочетаются с методами моделирования и анализа риска.

2. Комплексным показателем риска, характеризующим пространственное распределение опасности по объекту и близлежащей территории, является потенциальный территориальный риск – частота реализации поражающих факторов в рассматриваемой точке территории. Потенциальный территориальный или потенциальный риск не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что условная вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (т.е. человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте, и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с названием, выражает собой потенциал максимально возможной опасности для конкретных объектов воздействия (реципиентов, находящихся в данной точке пространства). Как правило, потенциальный риск

оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска при крупных авариях.

3. Количественной интегральной мерой опасности объекта является коллективный риск, определяющий ожидаемое количество пострадавших в результате аварий на объекте за определенный период времени.

4. Относительной характеристикой опасности является индивидуальный риск – частота поражения отдельного индивидуума (модель рискующего человека) в результате воздействия исследуемых факторов опасности. В общем случае количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени. При расчете распределения риска по территории объекта («картировании риска») индивидуальный риск определяется потенциальным территориальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и готовностью индивидуума к действиям в опасной ситуации, его защищенностью. Индивидуальный риск, как правило, следует определять не для каждого человека, а для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Рекомендуется оценивать индивидуальный риск отдельно для персонала объекта и для населения прилегающей территории, или, по возможности, для более узких групп, например, для обслуживающего персонала (операторов, ремонтных бригад). В целях сравнения оценок риска с критериями приемлемого риска (оценивания риска) рекомендуется рассчитывать максимальное значение индивидуального риска для определенной группы лиц (рискующих).

5. Социальный риск характеризует масштаб и вероятность (частоту) аварий и определяется функцией распределения потерь (ущерба), который графически отображается - F/N -кривой. В общем случае в зависимости от задач анализа под N можно понимать и общее число пострадавших, и число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий. Для практики оценки риска рекомендуется выделять значения $F(1)$ и $F(10)$ – частоты аварий с гибелью (травмирования) не менее 1 и 10 человек, соответственно. В некоторых случаях при установлении критериев приемлемости риска является использование двух кривых, когда, например, в

логарифмических координатах определены F/N -кривые приемлемого и неприемлемого риска смертельного травмирования. Область между этими кривыми определяет промежуточную степень риска, вопрос о снижении которой следует решать, исходя из специфики производства и региональных условий.

6. Для целей экономического регулирования промышленной безопасности и страхования важным является такой показатель риска, как – 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 материальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей аварий и представляется в виде соответствующей F/G -кривой. Для этих целей рекомендуется оценивать статистически ожидаемый ущерб в стоимостных или натуральных показателях (математическое ожидание ущерба или сумма произведений вероятностей причинения ущерба за определенный период на соответствующие размеры этих ущербов)

Одной из наиболее часто употребляемых характеристик опасности является индивидуальный риск – вероятность (или частота) поражения отдельного индивидуума в результате воздействия исследуемых факторов опасности при реализации неблагоприятного случайного события.

Обычно индивидуальный риск измеряется вероятностью гибели в исчислении на одного человека в год. Если говорится, что величина индивидуального риска, связанная с дорожно-транспортным происшествием, равна $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год, то в статистическом плане это означает, что в течение года в автокатастрофах погибнет каждый десятитысячный человек.

В общем случае количественно (статистически) индивидуальный риск R выражается отношением числа пострадавших людей n к общему числу рискующих N за определенный период времени t (обычно год):

$$R = \frac{n}{N \cdot t}. \quad (1)$$

При расчете распределения риска по территории вокруг объекта индивидуальный риск определяется потенциальным территориальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов.

Потенциальный территориальный риск в точке (x, y) оценивается по формуле

$$RI(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i \cdot P_{ij}(x, y) \cdot P(L)_j, \quad (2)$$

где $P(A)_i$ – вероятность аварийного выброса за год по сценарию i ; $P_{ij}(x, y)$ – условная вероятность реализации механизма воздействия j в точке (x, y) для сценария выброса i ; $P(L)_j$ – условная вероятность летального исхода (или заболевания) при реализации механизма воздействия j (в качестве сценариев механизма воздействия могут рассматриваться тепловые поражения людей, поражения ударной волной, поражение осколками и т.д.).

Индивидуальный риск поражения человека, находящегося в определенной точке пространства, следует оценивать по следующей формуле:

$$R(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i \cdot P_{ij}(x, y) \cdot P(L)_j \cdot f_k, \quad (3)$$

где f_k – вероятность присутствия k -го индивида в данной точке (области) пространства.

Вероятность f_k рекомендуется определять, исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории.

Для производственного персонала долю времени, при которой реципиент 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).

Для прочих наиболее характерных мест пребывания людей долю времени, при которой реципиент подвергается опасности, можно оценить следующим образом:

- для мест постоянного проживания – 1 (человек находится постоянно в данной точке);
- для садовых участков – 0,17 (2 месяца в году);
- гаражи – 0,0125 (0,3 часа в день);
- для автомобильных и железных дорог – определяется с учетом длины сближения с опасным участком, средней скорости движения по дороге, количества совершаемых поездок.

Значения $P(A)_i$ определяют из статистических данных или на основе методик, изложенных в нормативных документах.

Характерные вероятности аварий основных технологических элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для некоторых типов оборудования объектов

Наименование оборудования	Иницирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		100	$1,7 \cdot 10^{-6}$
		Полное разрушение	$3,0 \cdot 10^{-7}$
Насосы (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего / отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
		25	$3,9 \cdot 10^{-4}$
		50	$1,3 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и горючих жидкостей (далее – ГЖ) при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$

Для определения условной вероятности реализации механизма воздействия рекомендуется использовать метод построения деревьев событий.

Условная вероятность летального исхода $P(L)_j$ учитывает то, что одна и та же мера негативного воздействия может вызвать последствия различной тяжести у разных людей, что может быть связано с различием в возрасте, поле, здоровье человека, индивидуальной чувствительности к ядам (в случае токсического воздействия) и др. Иными словами, не только возникновение аварии, но и «эффект поражения» в рамках концепции анализа риска носит вероятностный характер.

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

$$P(L) = f[\text{Pr}(D)]. \quad (4)$$

Величина Pr в общем случае описывается выражением

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln S, \quad (5)$$

где a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия, S – 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; для токсического воздействия – концентрация токсического вещества и время воздействия).

Потенциальный территориальный риск, в соответствии с названием, представляет собой потенциал максимально возможного риска для конкретных объектов воздействия, находящихся в данной точке пространства. Данная мера риска не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что вероятность нахождения объекта воздействия равна 1.

Результаты расчета потенциального риска отображаются на карте предприятия и прилегающих районов в виде замкнутых линий равных значений (рис. 2).

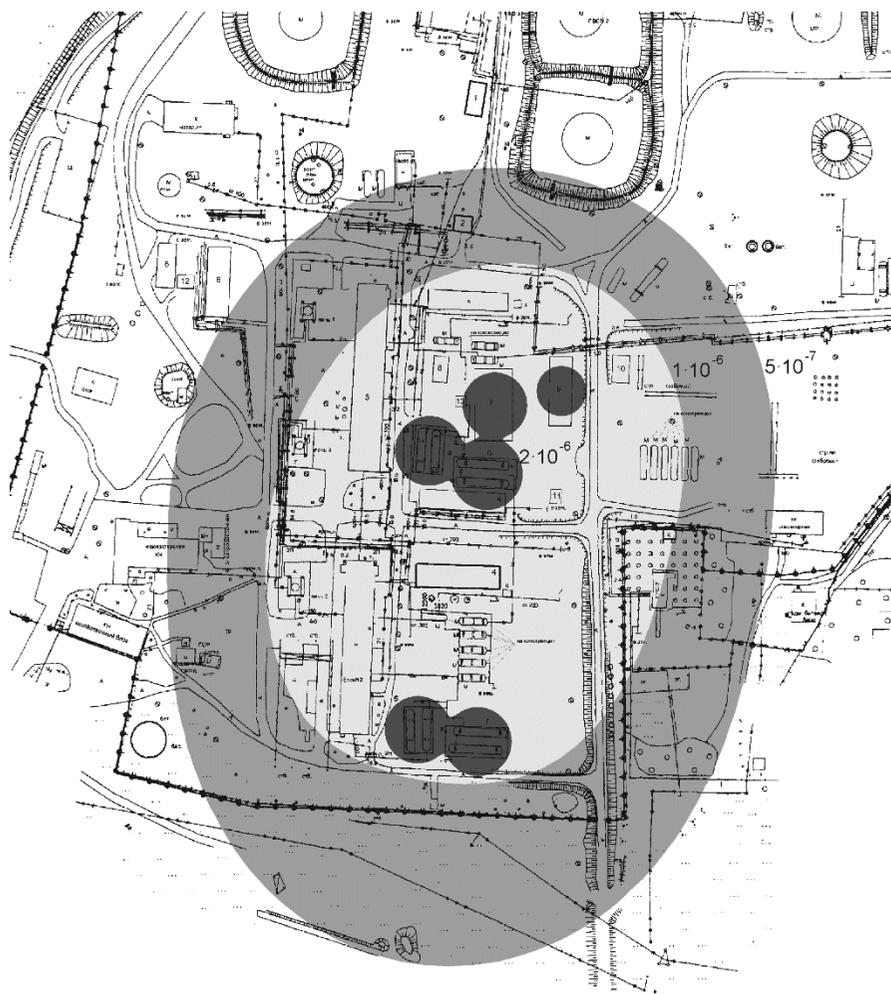


Рисунок 2. Распределение потенциального риска по территории объекта, на котором возможны аварии с выбросом горючих веществ (цифрами у изолиний указана частота смертельного поражения человека за один год при условии его постоянного местонахождения в данной точке)

Таблица 2

Уравнения для вычисления показателей риска*

Потенциальный территориальный риск	$RI(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i \cdot P_{ij}(x, y) \cdot P(L)_j$
Индивидуальный риск	$R(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i \cdot P_{ij}(x, y) \cdot P(L)_j \cdot f_k$
Средний индивидуальный риск	$\bar{R} = \left[\sum_{x,y} R(x, y) \cdot N(x, y) \right] / \sum_{x,y} N(x, y)$
Коллективный риск (общее число смертельных исходов)	$RN = \sum_{x,y} RI(x, y) \cdot N(x, y) = \sum_{j=1}^J N_r^j \cdot Q_j$

*Примечания: $N(x, y)$ – численность людей на площадке с координатами (x, y) ; N_r^j – ожидаемое количество погибших при реализации сценария развития аварии j ; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития аварии, при котором ожидаемо количество погибших N_r^j , 1/год; J – число сценариев развития аварий.

Уравнения для определения показателей риска приведены в табл. 2.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТ АВАРИЙ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

После выявления на каждом из принятых к рассмотрению пожаро- взрывоопасных объектов всех видов аварий, специфики их возникновения и развития, расчета полей потенциальной опасности этих аварий и определения вероятности реализации их негативного потенциала, оценка индивидуального риска может проводиться по формуле:

$$\bar{R} = \left[\sum_{x,y} R(x, y) \cdot N(x, y) \right] / \sum_{x,y} N(x, y), \quad (6)$$

где $N(x, y)$ – численность людей на площадке с координатами (x, y) ;
 $R(x, y)$ – индивидуальный риск в точке с координатами (x, y) :

$$R(x, y) = \sum_{ij} P(A)_i \cdot P_{ij}(x, y) \cdot P(L)_j \cdot f_k, \quad (7)$$

где $P(A)_i$ – вероятность аварии по сценарию i (в качестве сценариев аварии могут рассматриваться: нарушение герметичности замкнутых объемов за счет коррозии, нарушения за счет технологического режима и т.п.); $P_{ij}(x, y)$ – вероятность реализации механизма воздействия j в точке (x, y) для сценария выброса i (в качестве механизмов воздействия могут рассматриваться: тепловые поражения людей, поражения ударной волной, поражение обломками и т.п.); $P(L)_j$ – вероятность летального исхода при реализации механизма воздействия j .

Для определения вероятности летального исхода $P(L)_j$ используется вероятностный критерий – пробит-функция Pr. Взаимосвязь величины Pr и условной вероятности поражения дается специальной таблицей (Приложение 2).

Для определения пробит-функции при взрыве используют выражение

$$\text{Pr} = 5 - 0,26 \cdot \ln(V); \quad (8)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3},$$

где ΔP – избыточное давление, Па; i – импульс волны давления, Па·с.

Величина пробит-функции при поражении человека тепловым излучением описывается выражением:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{4/3}), \quad (9)$$

где t – эффективное время экспозиции, с; q – интенсивность теплового излучения, кВт/м², определяемая в соответствии с методом расчета интенсивности теплового излучения

Величина эффективного времени экспозиции t может быть вычислена по формулам:

- для огненного шара:

$$t = 0,92m^{0,303}; \quad (10)$$

- для пожара пролива:

$$t = t_0 + x/u, \quad (11)$$

где m – масса горючего вещества, поступившего в окружающее пространство, кг; t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (может быть принято равным 5 с; x – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м²); u – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается равной 5 м/с).

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

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1. За пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТ АВАРИЙ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

При авариях на химически опасных объектах поражающий фактор будет связан с токсическим воздействием газообразных веществ.

При токсическом поражении пробит-функция может быть вычислена по уравнению следующего вида:

$$Pr = a + b \ln(D_Z), \quad (12)$$

где a и b – константы для каждого вещества, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия; D_Z – поглощенная субъектом доза негативного воздействия.

В случае пребывания субъекта в атмосфере с постоянной концентрацией опасного химического вещества значение пробит-функции определяется из соотношения:

$$Pr = a + b \ln(C^n \tau), \quad (13)$$

где C – концентрация; τ – время воздействия; n – показатель степени, который характеризует механизм воздействия и природу токсиканта.

В более общем случае токсическая нагрузка должна вычисляться с учетом изменения концентрации вещества за принятый период времени T :

$$D_Z = \int_0^T C^n(\tau) d\tau. \quad (14)$$

6. СОЦИАЛЬНЫЙ РИСК (F/N-ДИАГРАММА)

Социальный риск определяется функцией распределения потерь (ущерба), у которой есть установившееся название – F/N -кривая (в зарубежных работах – кривая Фармера). F/N -диаграммы могут быть использованы для представления зависимости частоты реализации опасности от ее масштаба. F/N -диаграмма описывает зависимость частоты реализации неблагоприятных событий F , в результате которых погибло не менее N человек, от этого количества человек.

Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F(x)$, задаваемой уравнением

$$F(x) = \sum_{j=1}^{N(x)} Q_j^x, \quad (15)$$

где Q_j^x – ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций C_j , при которых гибнет не менее x человек; $N(x)$ – число сценариев C_j , 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

$$F([N_j]) = F(N_j) \cdot \frac{N_j}{[N_j]}, \quad (16)$$

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 .

Частота аварии с гибелью не менее одного человека равна

$$R_1 = F(1). \quad (17)$$

Интегральная функция распределения людских потерь есть разрывная ступенчатая функция, скачки которой происходят в точках, соответствующих возможным значениям случайной величины N , и равны вероятностям этих значений.

Рассмотрим пример построения F/N -диаграммы.

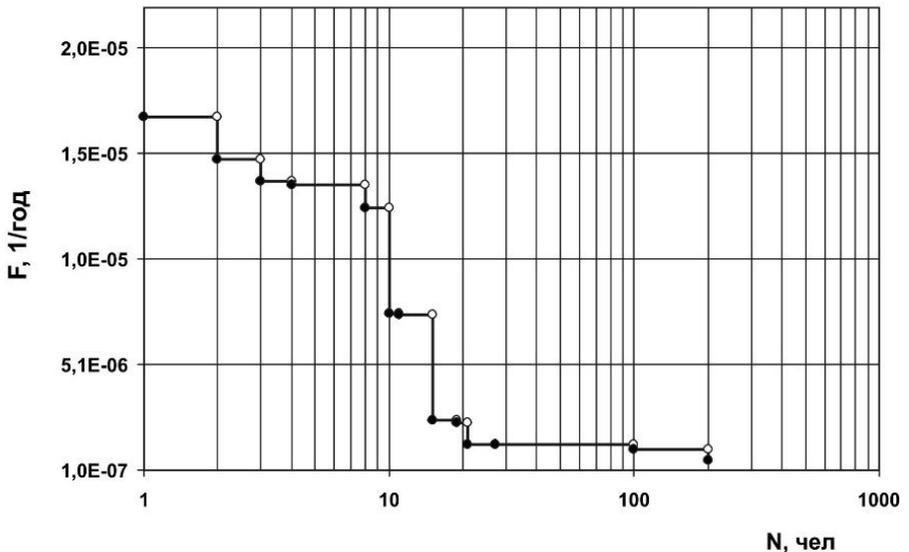
Пусть даны вероятности сценариев аварий на ОПО Q и соответствующие им количества погибших N . Значения числа погибших и соответствующие частоты сценариев аварий представлены в табл. 3. В табл. 3 также даны суммы частот сценариев аварий F , при которых гибнет не менее N человек. Для наглядности значения N расположены в порядке возрастания.

Кривая социального риска для рассматриваемого примера представлена на рис. 3.

Таблица 3

Исходные данные для построения F/N -диаграммы

Количество погибших N , чел.	Частота сценария аварии Q , 1/год	Сумма частот сценариев F с ожидаемым количеством погибших не менее N , 1/год
1	2,00E-06	1,68E-05
2	1,00E-06	1,48E-05
3	1,10E-07	1,38E-05
4	1,10E-06	1,36E-05
8	5,00E-06	1,25E-05
10	1,10E-07	7,54E-06
11	5,00E-06	7,43E-06
15	1,10E-07	2,43E-06
19	1,00E-06	2,32E-06
21	2,40E-08	1,32E-06
27	2,30E-07	1,30E-06
100	4,90E-07	1,07E-06
200	5,80E-07	5,80E-07

Рисунок 3. Пример интегральной функции распределения числа погибших при аварии на ОПО (F/N -кривая)

7. КОНЦЕПЦИЯ ПРИЕМЛЕМОГО (ДОПУСТИМОГО) РИСКА

Так как нельзя создать абсолютно безопасные технологии, то, очевидно, следует стремиться к достижению хотя бы такого уровня риска, с которым общество в данный период времени сможет смириться.

В силу этих обстоятельств в промышленно-развитых странах, начиная с конца 70-х – начала 80-х годов начался переход от концепции «абсолютной безопасности» к концепции «приемлемого риска».

Приемлемый (допустимый) риск аварии – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск.

Основной рекомендацией к выбору или определению критерия приемлемого риска является его обоснованность и определенность. При этом критерии приемлемого риска могут задаваться нормативной документацией, определяться на этапе планирования анализа риска и/или в процессе получения результатов анализа. Критерии приемлемого риска рекомендуется определять исходя из совокупности условий, включающих определенные требования безопасности и количественные показатели опасности. Условие приемлемости риска может выражаться в виде условий выполнения определенных требований безопасности, в том числе количественных критериев.

Основой для определения критериев приемлемого риска являются:

- нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области;
- сведения о произошедших авариях, инцидентах и их последствиях;
- опыт практической деятельности;
- социально - экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта.

Решения о допустимости уровня риска, обычно, принимаются, исходя из среднего значения индивидуального риска для субъекта:

$$\bar{R} = \left[\sum_{x,y} R(x, y)N(x, y) \right] / \sum_{x,y} N(x, y). \quad (18)$$

На государственном уровне методология анализа и управления риском, основанная на концепции приемлемого риска, впервые была принята в Нидерландах в 1985 г. в качестве государственного закона. Согласно ему, вероятность смерти в течение года для индивидуума от опасностей, связанных с техносферой, больше 10^{-6} считается недопустимой, меньше 10^{-8} – пренебрежимой. Область приемлемого риска, исходя из экономических и социальных причин, соответствует диапазону 10^{-6} – 10^{-8} .

Данное решение было принято в Нидерландах, исходя из следующих соображений. За основу был принят риск смерти индивидуума в возрасте 10–15 лет, который, согласно статистическим данным по возрастной смертности, составляет примерно 10^{-4} в год и является минимальным на протяжении всей жизни человека. Отметим для сравнения, что максимальный риск смерти для человека соответствует первому году его жизни и равен $2 \cdot 10^{-2}$ в год. В Нидерландах, основываясь на этих данных, для предельно допустимого уровня (ПДУ) индивидуального риска принято значение, которое составляет 1 % от риска смерти в возрастном интервале от 10 до 15 лет, т.е. 10^{-4} в год.

Во многих других экономически развитых странах был использован стандарт, введенный в Нидерландах, который применяется в практике лицензирования потенциально опасных объектов. Этот стандарт задает максимально приемлемые уровни индивидуального техногенного риска для населения, проживающего в регионе размещения этих объектов.

В Европе индивидуальный годовой риск на уровне 10^{-5} является верхним пределом для существующих промышленных установок. В то же время в Великобритании недопустимый уровень составляет 10^{-4} в год, но применение подхода «разумной достаточности» ALARP (as low as reasonably practicable – настолько низко, насколько это практически целесообразно) строго обязательно, что приводит к тому, что в действительности уровень риска значительно ниже предельного значения.

Значение верхней границы индивидуального риска для новых установок в Чехии и в Нидерландах после 2010 г. устанавливается на уровне 10^{-6} в год.

В Великобритании пределы социального риска используются начиная с 1989 г. по рекомендациям Комитета по здравоохранению и промышленной безопасности (Health and Safety Executive - HSE)

(<http://www.hse.gov.uk>). Так, уровень приемлемого индивидуального риска установлен 10^{-6} в год.

Незначительный (пренебрежимый) уровень риска, определенный в Великобритании равным 10^{-7} в год, не подвергается сомнению, и предполагается, что в настоящее время это значение может быть принято всеми странами ЕС.

Поскольку границы оправданного риска трудно рационально обосновать, при решении расчетных или эксплуатационных технических задач следует использовать сравнение с риском в аналогичных ситуациях. В любом районе страны, независимо от наличия или отсутствия там каких-либо техногенных объектов, существует некоторая вероятность того, что человек погибнет в результате несчастного случая, преступления или иного неестественного события. Эта категория в статистике называется «смерть от внешних причин». Поэтому индивидуальный риск от техногенной деятельности сравнивается с риском от этой категории.

В табл. 4 представлены значения фоновых показателей риска гибели людей (год^{-1}) в Российской Федерации за 2015 г. (по данным Росстата).

Таблица 4

Значения вероятности смерти людей от внешних причин

Причина	10^{-6} чел/год
Транспортные несчастные случаи (в том числе ДТП)	169,0 (121,0)
Случайное отравление алкоголем	65,0
Прочие отравления	65,0
Случайные утопления	42,0
Самоубийства	171,0
Убийства	80,0
Прочие внешние причины	518,0

В нашей стране Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определены следующие нормативные значения пожарных рисков:

1. Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях, строениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год.

2. Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

3. Для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной 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.

4. Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год.

5. Величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну десятиллионную в год.

Для объекта социальный пожарный риск принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Согласно ГОСТ 12.1.010 – 76 и ГОСТ 12.1.004 – 91, вероятность воздействия опасных факторов взрыва и пожара на людей в течение года не должна превышать 10^{-6} на человека;

Общепринятых пороговых (приемлемых) значений уровня индивидуального риска для оценки опасности тех или иных потенциально опасных производств в мире пока нет. Предлагаемые различными зарубежными организациями и учеными пороговые значения колеблются в области значений 10^{-3} – 10^{-8} . Рекомендуемые значения приемлемого риска для населения меняются в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-7} .

8. НОМЕНКЛАТУРА ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ

Технологические опасности обусловлены:

- значительными объемами хранения опасных веществ;
- экстремальными физическими условиями (высокие и низкие температуры, высокие давления, вакуум, циклические изменения давления и температуры, гидравлические удары).

Причины аварий:

а) технологические нарушения:

- отклонения технологических параметров: давления, температуры, расхода, концентрации, скорости реакции, теплоты реакции, изменение фазового состояния, загрязнение;
- спонтанные реакции: полимеризация, неконтролируемые процессы, внутренний взрыв, разложение;
- разгерметизация трубопроводов, резервуаров, сосудов, отказ прокладок, сальников вследствие механических повреждений, физического износа, коррозии оборудования;
- отказы средств КИП и А (измерительных приборов, датчиков, блокировок);
- неисправности систем обеспечения: электрической, подачи воздуха или азота, водоснабжения, охлаждения, теплообмена, вентиляции;

б) отказ системы административного управления и ошибки эксплуатационного персонала (нарушение требований технологических регламентов, рабочих инструкций, неудовлетворительная организация проведения ремонтных работ, отсутствие надзора за техническим состоянием оборудования, низкая производственная дисциплина).

в) внешние события: экстремальные погодные условия, землетрясения, воздействия других аварий, случаи вандализма, диверсии.

Причины опасных событий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности можно подразделить на организационные и технические. Анализ результатов расследования технических причин происшедших опасных событий показал, что основными факторами возникновения и развития этих событий являются неудовлетворительное состояние технических устройств, зданий и сооружений, а также несовершенство технологий или

конструктивные недостатки. К организационным причинам относятся: нарушение технологии производства работ, неправильная организация производства работ, неэффективность производственного контроля, умышленное отключение средств защиты, сигнализации или связи, низкий уровень знаний требований промышленной безопасности, нарушение производственной дисциплины, неосторожные (несанкционированные) действия исполнителей работ [3]. Более 70 % опасных событий и несчастных случаев происходит по организационным причинам, так или иначе связанным с ошибками человека – оператора и влиянием человеческого фактора [10].

Анализ статистических данных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору показал, что большая часть опасных событий и групповых несчастных случаев, происшедших в 2011 году, связана с проведением ремонтных работ подрядными организациями. Техническое расследование причин аварий за 2011 год на объектах нефтепереработки показывает, что основными из них стали нарушения эксплуатирующими организациями требований законодательства в области промышленной безопасности на всех стадиях жизненного цикла опасных производственных объектах. Причинами опасных событий стали как нарушения при эксплуатации опасных объектов, так и нарушения при проведении пуско-наладочных работ, работ по остановке производства, ремонтных работ, в том числе связанных с выполнением огневых, газоопасных, монтажных и электромонтажных работ.

Износ оборудования также является одним из значительных факторов опасности, влияющих на состояние промышленной безопасности опасных производственных объектов, возникновения отказов, разгерметизации технических устройств, приводящих к авариям, сопровождающимся взрывами и разрушениями. Анализ результатов расследования технических и организационных причин аварий, происшедших в 2011 году, показал, что 12 аварий (60 %) произошли по причине разгерметизации и разрушения технических устройств на опасных производственных объектах. Крупные аварии и сопровождающие их пожары и взрывы на нефтеперерабатывающих производствах возникают, в основном, по следующим причинам: нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности (33 %); некачественный монтаж и ремонт оборудования (22 %); некачественная молниезащита (13 %); нарушение правил технологического регламента (11 %); износ оборудования (8 %);

недостаточно качественные сальниковые уплотнения и фланцевые соединения (11 %); прочие (2 %) [3].

9. КЛАССИФИКАЦИЯ АВАРИЙ

В целях упорядочения отнесения происходящих аварий к тому или иному виду вводится следующая их классификация:

1) взрыв пылегазовоздушной смеси с возгоранием (в технологической системе, производственном помещении, на открытой площадке);

2) взрыв реакционной среды внутри технологической системы (аппарата) в результате отклонения параметров технологического процесса от регламентированных значений;

3) пожар, связанный с разливом взрывопожароопасных веществ (неконтролируемое горение, причинившее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества и окружающей природной среде);

4) выброс или истечение химически опасных, взрывоопасных и горючих веществ;

5) полное или частичное разрушение (повреждение) технологического оборудования и трубопроводов, зданий и сооружений, не связанное с взрывом, пожаром;

6) события, перечисленные в п.п. 1 – 5, в результате которых имеются пострадавшие, полностью или частично выведено из строя оборудование и прекращен выпуск продукции (без учета перехода на резервное оборудование);

7) взрыв пылегазовоздушной смеси без возгорания (хлопок);

8) загорание, самовозгорание в результате утечки опасных веществ при разгерметизации технологической системы, не повлекшие за собой вывода из строя технологического оборудования;

9) переполнение емкостной аппаратуры (железнодорожных цистерн, резервуаров, аппаратов, контейнеров, баллонов и другого оборудования) с разливом взрывопожароопасных и вредных продуктов.

9.1. Классификация взрывов

В многочисленной справочной литературе взрывные явления определяются по разному, однако общим во всех определениях является то, что взрыв – это происходящее внезапно («стремительно», «мгновенно», «в виде всплеска») «событие», при котором высвобождается внутренняя энергия и формируется избыточное давление. Такой процесс сопровождается сильным звуковым эффектом.

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.

Ударная волна – распространяющаяся с высокой скоростью переходная область в газе, жидкости или в твердом теле, в которой происходит резкое увеличение плотности, давления и скорости среды.

Характерный профиль ударной волны при взрыве топливно-воздушной смеси (ТВС) показан на рис. 4.

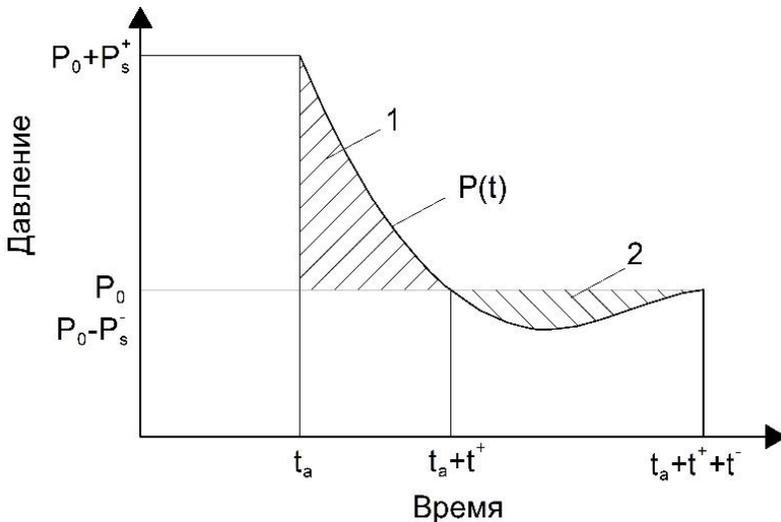


Рисунок 4. Характерный профиль ударной волны: 1 – положительная фаза; 2 – отрицательная фаза

В момент прихода взрывной волны в заданную точку, где давление окружающей среды P_0 , давление повышается до максимального значения во фронте ударной волны $P_0 + P_s^+$. Далее, за время t^+ , давление снижается до давления среды в невозмущенном состоянии P_0 и продолжает снижаться до величины $P_0 - P_s^-$. Затем давление начинает расти и в момент времени $t_a + t^+ + t^-$ возвращается к исходному давлению P_0 . Величина P^+ представляет собой максимальное возмущенное избыточное давление, или амплитуду избыточного давления.

Область ударной волны, где давление превышает давление окружающей среды называется положительной фазой. Другая область, где давление ниже давления окружающей среды, называется отрицательной фазой, или фазой разрежения.

Положительная фаза волны давления характеризуется амплитудой избыточного давления P_s^+ и продолжительностью положительной фазы t^+ . Отрицательная фаза или фаза разрежения характеризуется продолжительностью t^- и амплитудой P_s^- .

Важнейшими параметрами взрывной волны являются положительные i_s^+ и отрицательные i_s^- импульсы:

$$i_s^+ = \int_{t_a}^{t_a + t^+} [P(t) - P_0] dt; \quad i_s^- = \int_{t_a + t^+ + t^-}^{t_a + t^+} [P_0 - P(t)] dt. \quad (19)$$

В большинстве случаев определяют параметры взрывной волны, связанные с положительной фазой. Однако иногда (например, при взрывах сосудов со сжатыми газами и протяженных источниках взрыва) параметры отрицательной фазы достигают высоких значений и важны при оценке разрушающей способности взрывной волны. Отрицательная фаза ударной волны, вновь проходящая через центр, приводит к взаимному наложению волн.

Взрывы классифицируют по происхождению выделившейся энергии следующим образом:

- химические;
- физические.

Источником энергии при химических взрывах являются экзотермические реакции взаимодействия горючих веществ с окислителями или термического разложения нестабильных соединений.

Физический взрыв чаще всего связан с неконтролируемым высвобождением потенциальной энергии сжатых газов, паров или жидкостей из замкнутых объемов сосудов

К физическим взрывам относятся:

- взрывы емкостей под давлением (баллоны, паровые котлы);
- взрыв резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом;
- взрывы при смешении двух жидкостей, температура одной из которых намного превышает температуру кипения другой.

В зависимости от скорости распространения пламени взрыв может быть детонационным или дефлаграционным.

Дефлаграционный взрыв – взрыв парогазовой смеси при котором скорость распространения горения определяется теплопроводностью среды. При этом скорость распространения пламени составляет десятки и сотни метров в секунду, но не превышает скорость распространения звука в данной среде (300-340 м/с).

Применительно к случайным промышленным взрывам под дефлаграцией обычно понимают горение облака с видимой скоростью порядка 100-300 м/с, при которой генерируются ударные волны с максимальным давлением 20 -100 кПа.

Детонационный взрыв – взрыв парогазовой смеси, при котором скорость распространения горения определяется скоростью распространения ударной волны. При этом скорость распространения пламени превышает скорость распространения звука и достигает 1-5 км/с. Это происходит часто вследствие турбулизации материальных потоков, вызывающей сильное искривление и большое увеличение поверхности фронта пламени. При этом возникает ударная волна, во фронте которой резко повышаются плотность, давление и температура смеси; при возрастании этих параметров смеси до самовоспламенения горючего вещества возникает детонационная волна, являющаяся результатом сложения ударной волны и образующейся зоны сжатой, быстрореагирующей (самовоспламеняющейся) смеси.

Многочисленными исследованиями было показано, что вероятность детонационного сгорания реально создаваемых взрывоопасных сред весьма мала, а возможность взрывного горения, сопровождающегося ударной волной, создается при эффективной видимой скорости пламени, равной примерно $0,2 M$ (M – число Маха, определяемое отношением фактической скорости перемещения газа к

скорости звука в данной среде). Для углеводородовоздушных смесей это соответствует видимой скорости пламени около 60 м/с.

Энергию взрыва парогазовых сред определяют по теплотам сгорания горючих веществ в смеси с воздухом (окислителем); конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) – по теплоте, выделяющейся при их детонации (реакции разложения); при физических взрывах систем со сжатыми газами и перегретыми жидкостями – по энергиям адиабатического расширения парогазовых сред и перегрева жидкости.

Теплоты сгорания горючих газов в топливно-воздушной смеси берутся из справочных данных. Значения теплоты сгорания составляют соответственно (МДж/кг) для незамещенных углеводородов (метан, пропан, бутан) – 40-50, водорода – 120, углеводородов с одним заместителем – кислородом (этиленоксид, ацетон) – 27-28, с хлором (хлорбензол, этилхлорид) – 19-27.

Удельная теплота взрыва конденсированных ВВ характеризуется значениями от 1,5 до 7,5 МДж/кг. Тепловая энергия, выделяющаяся при детонации тротила, составляет 4,52 МДж/кг.

9.2. Классификация пожаров

Пожаром называют неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства

Пожар разлития – горение вещества разлития, испаряющегося с поверхности жидкости.

Вспышечный пожар – режим сгорания паровоздушного облака, при котором скорость перемещения фронта пламени значительно меньше звуковой. Характеризуется пренебрежимо малым значением возникающего при превращении избыточного давления.

Огненный шар – крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с перегретой горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара.

Важным случаем выброса, ведущего к возникновению огненного шара, является так называемый взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости, или BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Это явление характерно для аварий, в которых происходит разрушение оболочки резервуара со сжиженным газом. Резкий сброс давления приводит к объемному вскипанию жидкости, в результате

чего часть ее переходит в пар, увлекая оставшуюся жидкость в виде мелкодисперсного аэрозоля. Образующееся облако обогащено горючим веществом (концентрация горючего вещества превышает ВКПР), поэтому при его зажигании от расположенного вблизи места аварии источника оно не взрывается, а горит по внешней оболочке и вытягивается, образуя огненный шар. Поднимаясь, огненный шар, принимает грибовидную форму, ножка которого – это сильное восходящее конвективное течение, которое может всасывать отдельные предметы, зажигать их и разбрасывать горящие предметы на большие площади.

К пожарам следует также отнести факельное горение струй газа или жидкости. Горящий факел образуется при непрерывном истечении горючего вещества из небольшого отверстия в оболочке сосуда (резервуара).

10. ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ АВАРИЯХ

Поражающие факторы аварии – физические процессы и явления, сопровождающие аварию и оказывающие поражающее действие на людей, технику, сооружения и т.д.

При авариях на объектах химической и нефтехимической отраслей промышленности выделяют следующие основные поражающие факторы:

- ударная волна и разлет осколков, возникающие при разного рода взрывах;
- тепловое излучение пожара пролива и огненного шара;
- действие токсических веществ, участвующих в технологическом процессе.

Разрушающее действие ударной волны характеризуют избыточное давление в ее фронте (передней границе) и импульс взрыва.

Избыточное давление – это разность между максимальным давлением во фронте ударной волны и нормальным атмосферным давлением перед этим фронтом. Так, избыточное давление в пределах детонирующего облака смеси этиленоксида с воздухом составляет 2 МПа. Большинство же промышленных зданий разрушается от значительно меньших давлений: 25-30 кПа при внешних и 20-25 кПа при внутренних взрывах [5]. Величина избыточного давления на фронте ударной волны $\Delta P = 5$ кПа принимается безопасной для человека.

В табл. 5 приведены типичные значения избыточного давления, соответствующие различным степеням повреждения зданий.

Таблица 5

Значения избыточного давления для различных степеней повреждения зданий

Степень поражения	Избыточное давление, кПа
Полное разрушение зданий	100
50 % разрушение зданий	53
Средние повреждения зданий	28
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

При взрывах топливно-воздушных смесей существенную роль играет длительность действия ударной волны, и связанный с ней параметр импульс взрыва. Для оценки предполагаемого уровня разрушений широко применяется графический метод оценки разрушающей способности ударных волн с помощью диаграмм влияния давления и импульса на уровень и характер разрушения. Примером такой диаграммы является диаграмма $P-i$ (рис. 5).

Поражающее действие теплового излучения характеризуется **интенсивностью теплового излучения** q – тепловым потоком излучения, падающим на площадку единичного размера ($\text{кВт}/\text{м}^2$).

Величины q для различных степеней поражения человека приведены в табл. 6.

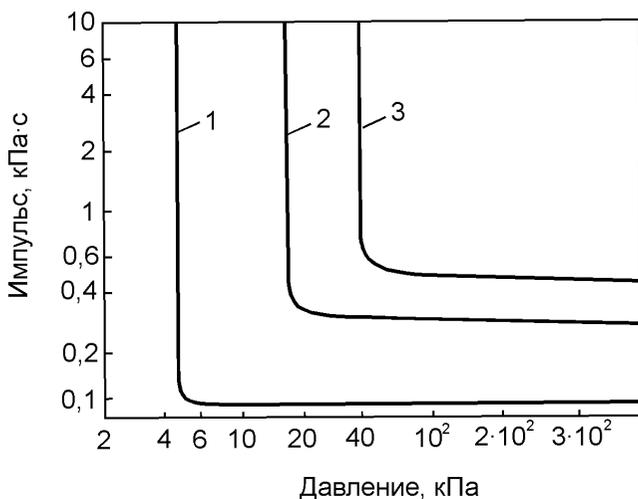


Рисунок 5. $P-i$ диаграмма для оценки уровня поражения промышленных зданий: 1 – граница минимальных повреждений; 2 – граница значительных повреждений; 3 – разрушение зданий (50-75 % стен разрушено)

Таблица 6

Значения интенсивности теплового излучения для различных степеней поражения человека и повреждения материалов

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м ²
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20-30 с Ожог 1 степени через 15-20 с Ожог 2 степени через 30-40 с	7,0
Непереносимая боль через 3-5 с Ожог 1 степени через 6-8 с Ожог 2 степени через 12-16 с	10,5

Для количественной характеристики уровня токсического воздействия используется показатель «токсодоза». **Ингаляционная токсодоза** – это интеграл по времени концентрации опасного вещества в воздухе; при условно постоянной во времени концентрации опасного

вещества в заданной точке – произведение концентрации опасного вещества в воздухе на время экспозиции (время пребывания на зараженной территории). **Смертельная (или летальная) токсодоза** – наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, смерть с 50 % вероятностью. **Пороговая токсодоза** – наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью. Ингаляционные токсодозы измеряются в мг·мин/м³.

11. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ

Прогноз последствий аварийных событий базируется на использовании математических моделей и методов математического моделирования.

При формировании математических моделей большое значение придается правильному выбору моделей источников. К подобным моделям относятся модели истечения вещества, растекания жидких веществ по поверхности, модели мгновенного вскипания и парообразования из пролива. Эти модели позволяют охарактеризовать источники, вызывающие образование облака паров опасных веществ.

Модели полей поражающих факторов включают модели концентрационных полей токсичных веществ, модели температурных полей, возникающих в случае пожаров и взрывов, модели распространения давления и осколков при взрывах.

При определении количественных показателей риска ОПО необходимо прежде всего определить количество опасного вещества, способного участвовать в аварии

11.1. Определение количества опасного вещества, участвующего в аварии

Поведение жидкостей при выбросе

Для оценки зон действия поражающих факторов (ударной волны при взрыве, теплового излучения при пожаре пролива и огненном шаре, высоких концентраций токсичных веществ и т.д.) необходимо определить количество опасного вещества, участвующего

в аварии. С этой целью используются различные методики, имеющие нормативный характер.

При аварийных выбросах жидкостей процесс парообразования, в первую очередь, зависит от фазового состояния вещества, которое, в свою очередь, определяется условиями хранения и внешними условиями, а также свойствами вещества..

При выбросе перегретой жидкости наблюдается явление мгновенного испарения. **Перегретой называется жидкость**, нагретая до температуры, превышающей температуру ее кипения в нормальных условиях. Давление насыщенных паров перегретой жидкости превышает атмосферное. В химической технологии приходится иметь дело с огромными массами перегретых жидкостей; к ним относятся сжиженные углеводородные газы, хлор, аммиак, находящиеся в технологических системах при температуре окружающей среды и давлении, превышающем атмосферное. Перегретыми могут быть жидкости, имеющие температуру кипения выше температуры окружающей среды и находящиеся при высоких температурах и давлениях. При разгерметизации емкости с перегретой жидкостью в результате резкого снижения давления и нарушения термодинамического баланса происходит мгновенное вскипание определенной части жидкой фазы за счет высвобождения внутренней энергии. При этом устанавливается новое состояние равновесия, а температура оставшейся жидкой фазы понижается. При мгновенном испарении жидкости формируется **первичное облако** пара. Для оценки доли вещества ψ , «мгновенно» переходящего в пар, можно применить простое соотношение

$$\psi = \frac{H_T - H_x}{\Delta H_{\text{кип}}}, \quad (20)$$

где H_T – удельная энтальпия жидкости при температуре окружающей среды T , Дж; H_x – удельная энтальпия жидкости в точке кипения при атмосферном давлении, Дж; $\Delta H_{\text{кип}}$ – удельная теплота парообразования при атмосферном давлении, Дж/кг.

Для иллюстрации на рис. 6 представлены зависимости ψ от температуры хранения для различных веществ.

После мгновенного выделения внутренней энергии устанавливается равновесие жидкости и паров при давлении, близком к

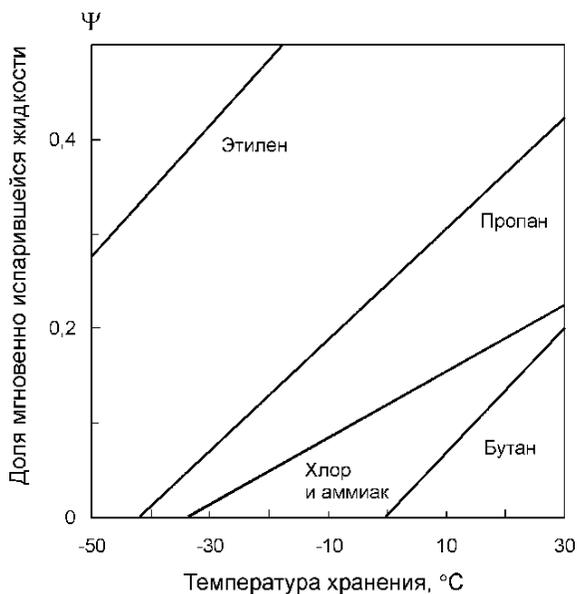


Рисунок 6. Зависимость ψ от температуры хранения

атмосферному. Так, при разрушении резервуара с пропаном начальные и конечные условия могут выглядеть следующим образом (табл. 7):

Таблица 7

Начальные и конечные условия равновесия для пропана

Параметр	Начальные условия	Конечные условия
Температура, $^{\circ}\text{C}$	26,9	-42,1
Давление, бар	10	1

При разлинии жидкости, температура кипения которой при атмосферном давлении ниже температуры окружающей среды, жидкость переходит в состояние кипения, интенсивность которого пропорциональна скорости теплопритока от окружающей среды (нагретого подстилающего слоя и атмосферного воздуха). При этом существуют два режима кипения – пузырьковый и пленочный (рис. 7). При умеренных перепадах температур между кипящей жидкостью и твердым телом ($\Delta T < 10^{\circ}\text{C}$) тепловой поток будет пропорционален ΔT^3 . В определенной точке это соотношение нарушается, так как

пузырьковое кипение переходит в пленочное, когда слой пара отделяет жидкость от подложки. Минимум теплового потока достигается в точке Лейденфроста. Дальнейшее повышение разницы температур ΔT за точкой Лейденфроста вызывает увеличение теплового потока, пропорциональное ΔT в степени 0,75. Это повышение значительно медленнее, чем при пузырьковом кипении. По истечению некоторого времени вследствие охлаждения поверхности теплоотдача от нее резко снижается и при равенстве температур поверхности и жидкости прекращается.

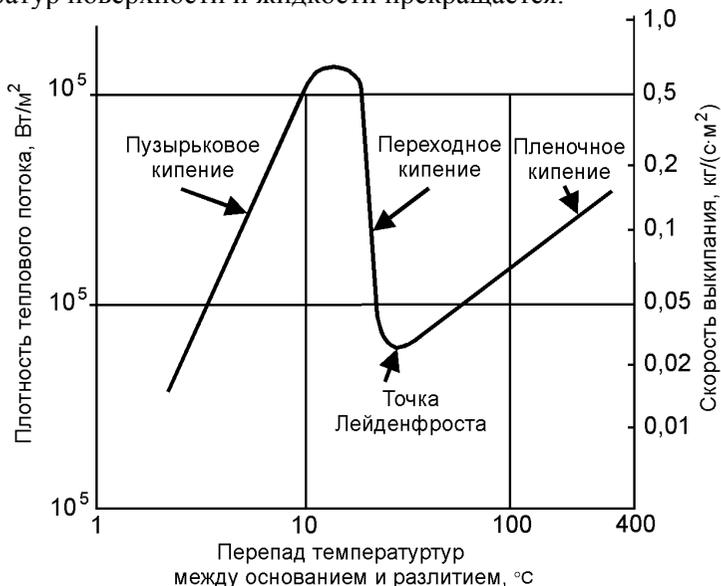


Рисунок 7. Теплоотдача при кипении пролива

В режиме кипения интенсивность парообразования из пролива пропорциональна теплопритоку от окружающей среды (подстилающего слоя, атмосферного воздуха, радиационного излучения).

При разлитии жидкостей, температура кипения которых при атмосферном давлении выше температуры окружающей среды, парообразование происходит, в основном, за счет отвода паров от поверхности пролива вследствие диффузии.

Таким образом, при определении интенсивности испарения с поверхности аварийного разлития руководствуются тем положением,

что при температуре окружающего воздуха, низких по сравнению с температурой кипения жидкости, процесс испарения лимитируется диффузией, а при высоких – теплоотдачей .

При испарении жидкости с поверхности аварийного разлива формируется **вторичное облако**. В общем случае **вторичное облако (или шлейф)** – это облако опасного вещества, образующееся в результате длительного (более двух минут) выброса газа или перегретой вскипающей жидкости, а также в результате испарения опасного вещества с подстилающей поверхности или из разгерметизированного оборудования и распространяющееся по ветру от места выброса.

Расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии

Рассмотрим как определяется количество паровой фазы, поступившей в окружающую среду при разрушении (разгерметизации) оборудования.

Количество жидкой фазы, переходящей в окружающее пространство при полном разрушении емкости, определялось по формуле

$$m_{ж} = \alpha \cdot V_a \cdot \rho_{ж} , \quad (21)$$

где α – степень заполнения емкости жидкой фазой; V_a – объем аппарата; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

При наличии смежных объектов, необходимо учитывать количество опасного вещества, поступившего от данных объектов.

При выбросе перегретой жидкости определяется количество пара, поступившего в окружающую среду в результате мгновенного вскипания жидкой фазы.

Количество однокомпонентной жидкости, мгновенно вскипающей при разгерметизации оборудования, вычисляется по формуле

$$G_{мгн} = m_{ж} \cdot \left(1 - \exp \left(- \frac{C_p (T - T_k)}{\Delta H_{кип}} \right) \right) , \quad (22)$$

где $m_{ж}$ – масса перегретой жидкости, поступившей в окружающее пространство, кг; T – температура жидкости в оборудовании; T_k – температура кипения жидкости при атмосферном давлении; C_p –

осредненная в соответствующем диапазоне температур удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К).

Количество вещества, содержащееся в оборудовании в виде парогазовой смеси определяется по формуле

$$G_{\text{св}} = (1 - \alpha) \frac{M}{R} \frac{P \cdot V}{273 + t}, \quad (23)$$

где M – молекулярная масса газа, кг/кмоль; R – универсальная газовая постоянная, равна 8310 Дж/(кг·кмоль); P – давление в оборудовании, Па; t – температура в оборудовании, °С; V – объем оборудования.

Если температура кипения жидкости ниже температуры окружающей среды, то при ее разливе за счет теплоотдачи от твердой поверхности происходит интенсивное парообразование этой жидкости. Масса образующихся при этом паров G'' может определяться по формуле

$$G'' = 2 \frac{T_0 - T_{\text{к}}}{\Delta H_{\text{кип}}} \frac{\varepsilon}{\sqrt{\pi}} F_{\text{п}} \sqrt{\tau}, \quad (24)$$

где T_0 – температура твердой поверхности (окружающей среды); $\Delta H_{\text{кип}}$ – удельная теплота испарения сжиженного газа при температуре $T_{\text{к}}$, Дж/кг; $F_{\text{п}}$ – площадь подстилающей поверхности, м²; $\varepsilon = \sqrt{\lambda_{\text{п}} \rho_{\text{п}} C_{\text{Рп}}}$; $\lambda_{\text{п}}$, $\rho_{\text{п}}$, $C_{\text{Рп}}$ – коэффициент теплопроводности, плотность и удельная теплоемкость материала твердой поверхности соответственно; τ – время контакта жидкости с твердой поверхностью, принимаемое в расчет, с.

Интенсивность испарения с поверхности аварийного разлива, обусловленного теплопритоком от окружающей среды и диффузионными процессами, определяется по эмпирическому выражению

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_{\text{н}}, \quad (25)$$

где η – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения. При проливе жидкости вне помещения допускается принимать $\eta = 1$; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа; M – молярная масса паров жидкости, кг/кмоль.

Масса испарившейся жидкости по зеркалу испарения:

$$G' = W \cdot F_{\text{ж}} \cdot \tau_{\text{и}}, \quad (26)$$

где $F_{\text{ж}}$ – площадь поверхности зеркала испарения жидкости, м^2 ; $\tau_{\text{и}}$ – время испарения жидкости, с.

Давление насыщенных паров $P_{\text{н}}$ для однокомпонентных жидкостей определяется по формуле

$$P_{\text{н}} = P_0 \exp\left(\frac{\Delta H_{\text{кип}} M}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{к}}} - \frac{1}{T}\right)\right), \quad (27)$$

где P_0 – атмосферное давление, Па; $T_{\text{к}}$ – температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К; T – абсолютная температура жидкой фазы, К.

Длительность испарения жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с. При определении количества опасного вещества, участвующего в токсическом поражении, длительность испарения принимается равной времени экспозиции (1800 с).

При разливе жидкости на открытых пространствах площадь испарения принимается равной площади, ограниченной обвалованием. При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива $F_{\text{ж}}$ (м^2) жидкости определяется по формуле

$$F_{\text{ж}} = f_P \cdot V_{\text{ж}}, \quad (28)$$

где f_P – коэффициент разлития, м^{-1} (при отсутствии данных допускается принимать равным 20 м^{-1} при проливе на грунтовое покрытие, 150 м^{-1} при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие); $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м^3 .

Количество пара, участвующего в аварийной ситуации, равно

$$m = G_{\text{мгн}} + G_{\text{св}} + G' + G''. \quad (29)$$

При выбросе стабильной жидкости (температура которой в аппарате меньше температуры кипения при атмосферном давлении) величина m равна

$$m = G_{\text{св}} + G'. \quad (30)$$

11.2. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов

Пожаро- и взрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, характеризующими предельными условия возникновения горения и максимальную опасность, создаваемую при возникшем горении. В простейшем случае, когда горючим веществом является газ, основными показателями являются: концентрационные пределы распространения пламени (КПР), называемые также пределами воспламенения или взрываемости, нормальная скорость распространения пламени, температура самовоспламенения, минимальная энергия зажигания, максимальное давление взрыва. Производными от них являются: скорость нарастания давления взрыва, минимальное взрывоопасное содержание кислорода.

Концентрационные пределы распространения пламени – минимальное и максимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любом расстоянии от источника зажигания. Предел, определяемый минимальным содержанием горючего компонента в смеси, называется нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР), а предел, характеризующий максимально возможным содержанием горючего компонента, при котором еще возможно распространение пламени, называется верхним концентрационным пределом распространения пламени (ВКПР). Для наглядности на рис. 8 КПР показаны схематически. Горение возможно в области составов между НКПР и ВКПР, называемой областью воспламенения. Вне этой области горение в режиме распространения пламени невозможно.

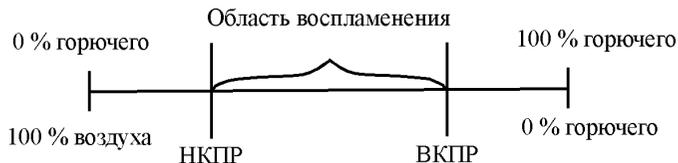


Рисунок 8. Схема концентрационных пределов распространения пламени

Минимальная энергия зажигания – наименьшая энергия электрического разряда, способная воспламенить наиболее легковоспламеняющуюся смесь горючего вещества с воздухом.

Параметр используется при обеспечении электростатической искробезопасности технологических процессов.

Нормальная скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении, перпендикулярном его поверхности.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура окружающей среды, при которой наблюдается самовоспламенение вещества.

Самовоспламенение – резкое увеличение скорости экзотермических реакций, сопровождающееся пламенным горением или взрывом.

Максимальное давление взрыва – наибольшее избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании газо-, паро-, или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси 101,3 кПа.

Скорость нарастания давления взрыва – производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва горючей смеси в замкнутом сосуде от времени.

Минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК) – такая концентрация кислорода в горючей смеси, состоящей из горючего вещества, воздуха и флегматизатора, меньше которой распространение пламени в смеси становится невозможным при любой концентрации горючей смеси, разбавленной данным флегматизатором. Обычно МВСК определяют при флегматизации горючих смесей азотом, диоксидом углерода.

При оценке пожароопасности жидкостей перечисленные выше показатели дополняются следующими: температура вспышки; температура воспламенения; температурные пределы воспламенения (ТП: нижний – НТП, верхний - ВТП).

Температура вспышки ($T_{всп}$) – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

Вспышка – быстрое сгорание газопаровоздушной смеси над поверхностью горючего вещества, сопровождающееся кратковременным видимым свечением.

По физическому смыслу температура вспышки – это минимальная температура жидкости, при которой давление насыщенных паров жидкости создает концентрацию паров над жидкостью, соответствующую НКПР. В зависимости от летучести жидкости, характеризуемой температурой вспышки и позволяющей судить о возможности образования взрывоопасной среды, жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ). К ЛВЖ относятся жидкости с $T_{всп} \leq 61^\circ\text{C}$ и к ГЖ – с $T_{всп} > 61^\circ\text{C}$.

Нагрева жидкостей до $T_{всп}$ недостаточно для устойчивого их горения. Для обеспечения требуемой интенсивности испарения для устойчивого горения необходим нагрев жидкости до более высокой температуры, называемой температурой воспламенения

Температурные пределы воспламенения – это температуры жидкостей, при которых давление насыщенных паров создает концентрацию паров, соответствующую концентрационному пределу распространения пламени. Зависимость между между ТП и КПР выражается следующим образом:

$$\text{НКПР} = \frac{P_{\text{НТП}}}{P_0} \cdot 100 (\%); \quad \text{ВКПР} = \frac{P_{\text{ВТП}}}{P_0} \cdot 100 (\%), \quad (31)$$

где $P_{\text{НТП}}$, $P_{\text{ВТП}}$ – давление насыщенных паров при нижнем температурном пределе (НТП) и верхнем температурном пределе (ВТП) соответственно; P_0 – атмосферное давление.

Пожаровзрывоопасные свойства веществ и материалов используются для определения возможного вида аварийного процесса, который может сопровождать выброс данного вещества.

11.3. Распространение выбросов опасных веществ в атмосфере

Для расчета размеров зон, в пределах которых газо- или паровоздушные смеси при аварийном поступлении горючих газов и паров летучих жидкостей в открытое пространство, сохраняют взрывоопасные или токсически опасные концентрации используют модели рассеяния примеси в атмосфере.

Примесь в атмосфере распространяется за счет конвективного переноса, обусловленного скоростью ветра, а также диффузии. Движение воздуха в приземном слое атмосферы практически всегда имеет турбулентный характер. Причиной диффузионного переноса примеси считается не столько движение молекул за счет концентрационной диффузии, сколько воздушные вихри различных размеров, возникающие у поверхности земли. Размеры турбулентных вихрей, кинетическая энергия движения воздуха в них, а следовательно, и скорость рассеяния примеси, будет определяться, в первую очередь двумя факторами. Первый - характер изменения температуры воздуха вблизи поверхности земли, определяющий характер конвективного движения над поверхностью. Вторым - шероховатость поверхности, вдоль которой движется воздушный поток, поскольку вихри возникают при обтекании препятствий, таких, как здания, лес, кустарник или неровности рельефа.

Интенсивность турбулентного переноса существенно зависит от температуры поверхности земли и распределения температуры воздуха в приземном слое атмосферы. В том случае, если вблизи поверхности земли температура воздуха выше, чем в более высоких областях приземного слоя, то состояние атмосферы будет неустойчивым (конвекция). И наоборот, устойчивому состоянию атмосферы соответствует более высокая температура воздуха на некоторой высоте над землей, чем непосредственно над ее поверхностью (инверсия). Состояние атмосферы характеризуют степенью вертикальной устойчивости либо классом устойчивости.

При наличии положительного градиента температуры по высоте (инверсия) возникает подавление турбулентности, что препятствует рассеянию примеси. Инверсия наблюдается в ночное время суток. В дневное время наблюдается изотермия (отсутствие градиента температуры по высоте) или конвекция (понижение температуры с высотой). При конвекции усиливается перемешивание примеси за счет возникновения конвективных течений, что способствует снижению размеров зон опасных концентраций.

Категорию устойчивости атмосферы можно оценить по значению градиента температуры из табл. 8.

Таблица 8

**Классы устойчивости атмосферы в зависимости
от градиента температуры**

Классификация	Класс устойчивости по Паскуиллу	$\Delta T/\Delta z$, ($^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$)
Сильная неустойчивость	A	-1,9
Умеренная неустойчивость	B	-1,9 – -1,7
Слабая неустойчивость	C	-1,7 – -1,5
Равновесное состояние	D	-1,5 – -0,5
Слабая устойчивость	E	-0,5 – 1,5
Умеренная устойчивость	F	1,5–4,0
Сильная устойчивость	G	>4,0

Для облаков, плотность которых мало отличается от плотности воздуха, используется гауссова модель рассеяния газообразных веществ, согласно которой распределение газа в вертикальном и горизонтальном направлении за счет атмосферной турбулентности подчиняется закону распределения Гаусса. Динамика распределения концентраций согласно гауссовской модели показана на рис. 9.

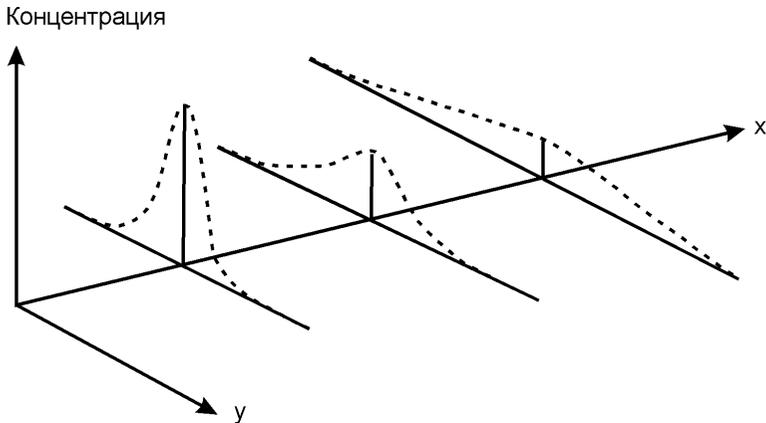


Рисунок 9. Динамика распределения концентраций по гауссовской модели

Согласно гауссовской модели концентрация в поле ветра со скоростью U в зависимости от времени и пространства для постоянно

действующего источника (например, испаряющегося пролива) изменяется следующим образом:

$$C(x,y,z) = \frac{q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (32)$$

где q – мощность непрерывного точечного источника; U – скорость ветра на высоте 10 м, м/с; σ_x , σ_y – горизонтальные дисперсии, м; σ_z – вертикальная дисперсия, м; x – расстояние от источника, м; y – поперечное расстояние от оси шлейфа, м; z – высота над поверхностью земли, м; h – высота источника, м.

Направление ветра совпадает с направлением оси x , а начало координат лежит в основании источника. В гауссовской модели также предполагается, что имеет место отражение загрязняющего вещества от поверхности земли.

Параметры распределения Гаусса σ_x , σ_y , σ_z определяются из эмпирических формул, меняются как функция расстояния и зависят от погодных условий.

В том случае, если имеем дело с залповым выбросом (например, при мгновенном вскипании жидкости), концентрации примеси внутри облака рассчитывается по формуле

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{((2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z)} G(x, y, z, t);$$

$$G(x, y, z, t) = \exp\left(-\frac{(x-U \cdot t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}, \quad (33)$$

где Q – масса первичного облака.

Гауссовские модели учитывают только два процесса, происходящие с выбросом в атмосфере: перемещение в поле ветра и рассеяние за счет атмосферной турбулентности. Естественно, что и приемлемую точность они дают в тех зонах, где доминируют указанные процессы: либо на большом удалении от места выброса, либо во всем диапазоне расстояний, но при слабом выбросе. Таким образом, данные модели не позволяют учитывать влияние на процесс рассеяния сил плавучести, возникающих за счет разности плотностей паровоздушного облака и окружающего воздуха.

Тяжелые газы, с точки зрения промышленной безопасности, представляют наибольшую опасность для человека и окружающей

среды, поскольку главным образом распространяются вдоль поверхности земли. Силы гравитации препятствуют их перемешиванию с воздухом. Вследствие этого, тяжелые газы и пары жидкостей имеют свой характер и специфику рассеяния.

Многие выбросы при промышленных авариях в начальный момент времени имеют плотность большую, чем воздух. Это может быть обусловлено различными причинами или их сочетанием:

- *высокая молекулярная масса вещества*, более 29,5 г/моль (молярная масса воздуха), при нормальных условиях к тяжелым газам относятся пропан, бутан, пары нефти, бензина, хлор, сероводород и т.д.;

- *низкая температура* (например, метан при нормальных условиях имеет плотность ниже плотности воздуха, а при температуре, равной температуре кипения (-161,5°C), его плотность становится выше плотности воздуха и тогда метан уже является тяжелым газом);

- *наличие аэрозолей* (например, аммиак и при нормальных условиях, и при температуре кипения является легким газом, и соответственно при смешении с воздухом образующиеся смеси имеют плотность меньше, чем воздух, однако при наличии капельных включений в смеси она становится тяжелым газом);

- *протекание химических реакций*, которые приводят к образованию тяжелого газа.

Выбросы тяжелого газа под действием силы тяжести быстро оседают на землю, в результате чего образуются невысокие, но протяженные облака (высота таких облаков составляет до нескольких метров, а поперечный размер – до нескольких десятков и даже сотен метров). В результате площадь покрываемой облаком поверхности земли оказывается на порядок больше той площади, которая была бы покрыта, будь плотность облака равна плотности воздуха. Более того, при выбросах тяжелого газа наблюдается такое явление, как распространение облака против ветра, которое отсутствовало бы, будь газ нейтральным.

В рассеянии облака тяжелого газа можно выделить две стадии: на первой стадии облако опускается под действием силы тяжести. В этой фазе влияние метеорологических условий незначительно. Во второй фазе, когда плотность облака отличается незначительно от плотности воздуха, рассеивание примеси происходит при сильном влиянии погодных условий.

При моделировании процессов рассеяния тяжелых газов обычно используется интегральная модель. Данная модель базируется на интегральных законах сохранения. В случае мгновенного выброса первичное облако представляется цилиндром. Через границы цилиндра происходит турбулентный обмен, в результате которого в облако подмешивается воздух, его объем растет, а концентрация опасного вещества падает. При этом цилиндр перемещается под действием ветра. В случае продолжительного выброса интегральные законы сохранения приложены к поперечному сечению облака с заданными начальными размерами. Разработанные интегральные модели обычно решаются численными методами. Основным недостатком данных моделей является то, что влияние препятствий и сложной геометрии подстилающей поверхности учитывается посредством параметра шероховатости, что является достаточно грубым приближением.

Учет влияния рельефа местности и промышленной застройки позволяют модели, основанные на численном решении трехмерных нестационарных уравнений гидродинамики и тепломассообмена. На сегодня данный подход реализован в нескольких программных продуктах, например, CFX, FLACS, FLUENT и др.

11.4. Поведение веществ при наличии источников зажигания

Явления, сопровождающие зажигание разлития или выход воспламеняющейся жидкости при потере герметичности, зависят от количества пара над разлитием, а не от полного количества разлитой жидкости. Эти явления зависят также от степени смешения воспламеняющихся паров с воздухом.

Удобно разделить все жидкости, способные вызывать пожары, на 6 классов.

Класс 1 – жидкости, имеющие при окружающей температуре незначительное давление паров. Чтобы такая жидкость загорелась, ее необходимо нагреть на несколько сотен градусов Цельсия. Хотя такие жидкости не способны самостоятельно поддерживать горение, они могут принять участие в крупном пожаре. Их можно назвать «трудногорящими». Пример – жидкие масла.

Класс 2 – жидкости с высокой температурой вспышки. Для того, чтобы получить давление паров, соответствующее НКПР, к ним надо подвести определенное количество тепла. Это «воспламеняющиеся» жидкости, не представляющие собой большой опасности. Пример –

n-ксилол (температура вспышки 39°C). Такие жидкости зажигаются от удара пламени и горят в самоподдерживающемся пожаре разлития.

Класс 3 – жидкости, у которых температура вспышки или равна номинальной температуре окружающей среды, или ниже ее. У таких жидкостей концентрация пара между НКПР и ВКПР. Пример – октан (температура вспышки - 13°C).

Класс 4 – жидкости, давление паров которых при температуре окружающей среды лежит в интервале между ВКПР и атмосферным давлением. Диэтиловый эфир с концентрацией пара 60 % (ВКПР – 28 %) будет жидкостью класса 4.

Жидкости класса 3 и 4 при зажигании от находящегося рядом источника образуют самоподдерживающийся пожар разлития. Ясно, что расстояние до источника, способного поджечь облако, зависит также от скорости и направления ветра. При зажигании облака жидкости класса 3 образуется пламя, которое быстро распространяется по всему объему паровоздушной смеси с концентрацией выше НКПР. В результате такой вспышки облако способно сгореть целиком. При зажигании облака жидкости класса 4 часть облака, содержащая переобогащенную смесь, будет гореть только на ее границе благодаря диффузии.

Класс 5 – воспламеняющиеся жидкости, у которых при хранении давление паров близко к атмосферному. Это криогенные воспламеняющиеся газы, такие как сжиженный природный газ (СПГ). При разлитии примыкающий слой переобогащен горючим и гореть не может, однако при рассеянии заметная доля разлития превратится в горючую смесь. В результате кипения при разлитии объем облака может оказаться значительным, и зажигание может произойти от удаленного источника, что приведет к вспышке перемешанной части облака и поджиганию оболочки парового облака. При очень больших разлиниях возможно образование огненного шара.

Жидкости класса 5 способны к пожару разлития.

Класс 6 – это сжиженные воспламеняющиеся газы, значительная часть которых при разгерметизации оборудования переходит в пар. Кроме того, в пар увлекаются капли жидкости. Примером жидкости класса 6 может служить сжиженный пропан. Такие жидкости способны зажигаться от удаленного источника с образованием вспышки, а также пожара разлития, если мгновенно испарившаяся часть мала (около 0,1, как это может быть в случае бутана). Часть переобогащенного облака будет гореть в диффузионном

режиме на границе своей оболочки. Если масса выброса составляет порядка тонны, вспышечный пожар может перерасти в огненный шар. В определенных ситуациях может произойти взрыв парового облака.

11.5. Математические модели для расчета зон действия поражающих факторов

11.5.1. Взрыв паровоздушного облака на открытой площадке

Эффективный энергозапас горючей смеси определяется по соотношению

$$E = m_{\Gamma} \cdot q, \quad (34)$$

где m_{Γ} – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, с концентрацией между нижним и верхним концентрационным пределом распространения пламени, кг; q – удельная теплота сгорания парогазовой среды, Дж/кг.

Допускается величину m_{Γ} 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.

При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии R от центра облака при дефлаграции (детонации) облака предварительно рассчитывается безразмерное расстояние по соотношению

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}, \quad (35)$$

где P_0 – атмосферное давление, Па.

Далее рассчитываются безразмерное давление P_x и безразмерный импульс фазы сжатия I_x .

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака топливно-воздушной смеси (ТВС):

$$P_x = \left(\frac{V_r}{C_0} \right)^2 \cdot \frac{(\sigma - 1)}{\sigma} \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right); \quad (36)$$

$$I_x = \left(\frac{V_r}{C_0} \right) \cdot \frac{(\sigma - 1)}{\sigma} \cdot \left(1 - \frac{0,4 \cdot (\sigma - 1) \cdot V_r}{\sigma \cdot C_0} \right) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right), \quad (37)$$

где V_r – скорость видимого фронта пламени, м/с; C_0 – скорость звука в воздухе, м/с; $C_0 = 340$ м/с; σ – степень расширения продуктов сгорания: для газовых смесей принимается $\sigma=7$.

Формулы (36) и (37) справедливы для значений R_x больших величины $R_{кр1} = 0,34$, в случае, если $R_x < R_{кр1}$, в формулы (36) и (37) вместо R_x подставляется величина $R_{кр1}$.

После определения безразмерных величин давления и импульса фазы сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины:

$$\Delta P = P_x P_0; \quad (38)$$

$$I = \frac{I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3}}{C_0}. \quad (39)$$

Ожидаемый режим сгорания облака определяется в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства (см. Приложение 1).

11.5.2. Пожар-вспышка

В случае образования паровоздушной смеси в незагроможденном технологическим оборудованием пространстве и ее зажигании относительно слабым источником (например, искрой) сгорание этой смеси происходит, как правило, с небольшими видимыми скоростями пламени. При этом амплитуды волны давления малы и могут не приниматься во внимание при оценке поражающего воздействия. В этом случае реализуется так называемый пожар-вспышка, при котором зона поражения высокотемпературными продуктами сгорания паровоздушной смеси практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания (т.е. поражаются в основном объекты, попадающие в это облако). Радиус воздействия

высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке R_F определяется по формуле

$$R_F = 1,2 \cdot R_{\text{НКПР}}. \quad (40)$$

Радиус $R_{\text{НКПР}}$ (м) зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (далее – НКПР), при неподвижной воздушной среде определяется по формулам:

- для горючих газов (далее – ГГ)

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (41)$$

- для паров ЛВЖ

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (42)$$

где $m_{\text{Г}}$ – масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг; $\rho_{\text{Г}}$ – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $m_{\text{П}}$ – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за расчетное время испарения, кг; $\rho_{\text{П}}$ – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа; $C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % об.

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают геометрический центр пролива, а в случае, если $R_{\text{НКПР}}$ меньше габаритных размеров пролива, – внешние габаритные размеры пролива.

11.5.3. Взрыв резервуара с перегретой жидкостью

Если происходит внезапное разрушение сосуда (системы) с перегретой жидкостью, она быстро испаряется с образованием паров в окружающей среде и формированием ударных волн. Разрушающая способность взрыва может характеризоваться внешней удельной работой термодинамического перехода из состояния жидкости при регламентированных (предаварийных) условиях в состояние при

атмосферных условиях и выражаться как $E = U_1 - U_2$ (U – внутренняя энергия).

Избыточное давление ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве резервуара с перегретой ЛВЖ, ГЖ или сжиженным углеводородным газом (далее – СУГ) в очаге пожара, определяются по формулам:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{m_{np}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{np}}{r^3} \right); \quad (43)$$

$$I^+ = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r}; \quad (44)$$

$$m_{np} = \left(\frac{E_{eff}}{4,52} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (45)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); r – расстояние от центра резервуара, м; E_{eff} – эффективная энергия взрыва, рассчитываемая по формуле

$$E_{eff} = k \cdot C_p \cdot m \cdot (T - T_k), \quad (46)$$

где k – доля энергии волны давления (допускается принимать равной 0,5); C_p – удельная теплоемкость жидкости (допускается принимать равной 2000 Дж/(кг · К); m – масса ЛВЖ, ГЖ или СУГ, содержащаяся в резервуаре, кг; T – температура жидкой фазы, К.

11.5.4. Взрыв сосуда со сжатым инертным газом

Избыточное давление ΔP и импульс I^+ в волне давления, образующиеся при взрыве сосуда со сжатым инертным газом определяются по формулам (43) и (44).

Энергия взрыва рассчитывается как работа адиабатического расширения сжатого газа A :

$$A = \frac{1}{k-1} PV' \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right], \quad (47)$$

где γ – показатель адиабаты; P – давление в аппарате, Па; V – объем аппарата, занятый газом, м³; P_0 – атмосферное давление, Па.

При этом m_{np} определяется соотношением

$$m_{np} = \left(\frac{A}{4,52} \right) \cdot 10^{-6}. \quad (48)$$

11.5.5. Огненный шар

Расчет интенсивности теплового излучения «огненного шара» q , кВт/м², проводят по формуле

$$q = E_f F_q \tau, \quad (49)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Величина E_f определяется на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равной 350 кВт/м².

Значение F_q определяется по формуле

$$F_q = \frac{D_s^2}{4 \cdot (H^2 + r^2)}, \quad (50)$$

где H – высота центра огненного шара, м. D_s – эффективный диаметр огненного шара, м; r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр «огненного шара» D_s определяется по формуле

$$D_s = 6,48 \cdot m^{0,325}, \quad (51)$$

где m – масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

Величину H допускается принимать равной D_s .

Время существования огненного шара t_s (с) определяется по формуле

$$t_s = 0,852 \cdot m^{0,26}. \quad (52)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ рассчитывается по формуле

$$\tau = \exp \left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right]. \quad (53)$$

11.5.6. Пожар пролива

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², для пожара пролива горючей жидкости вычисляется по формуле

$$q = E_f F_q \tau, \quad (54)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение E_f принимается на основе имеющихся экспериментальных данных или по табл. 9.

Таблица 9

Среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени в зависимости от диаметра очага и удельная массовая скорость выгорания для некоторых жидких углеводородных топлив

Топливо	E_f , кВт/м ²					m' , кг/(м ² ·с)
	$d=10$ м	$d=20$ м	$d=30$ м	$d=40$ м	$d=50$ м	
СПГ (метан)	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

При отсутствии данных для нефти и нефтепродуктов допускается величину E_f (кВт/м²) определять по формуле

$$E_f = 140 \cdot e^{-0,12d} + 20 \cdot (1 - e^{-0,12d}), \quad (55)$$

где d – эффективный диаметр пролива, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину E_f (кВт/м²) определять по формуле

$$E_f = \frac{0,4 \cdot m' \cdot H_{CG}}{\left(1 + 4 \cdot \frac{L}{d}\right)}, \quad (56)$$

где m' – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с); H_{CG} – удельная теплота сгорания, кДж/кг; L – длина пламени, м.

При отсутствии данных для однокомпонентных жидкостей допускается величину m' , кг/(м²·с), определять по формуле

$$m' = \frac{0,001 \cdot H_{CG}}{L_g + C_p(T_b - T_a)}, \quad (57)$$

где L_g – удельная теплота испарения жидкости, кДж/кг; C_p – удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг·К); T_b – температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К; T_a – температура окружающей среды, К.

Для многокомпонентных смесей жидкостей допускается определение значений E_f и m' по компонентам, для которых величины E_f и m' максимальны.

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (58)$$

где F_V , F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени, по следующим формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \begin{aligned} & -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \\ & + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg\left(\frac{1}{D}\right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctg\left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C}\right) + \arctg\left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C}\right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1) \cdot a \cdot \sin \theta}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg\left(\frac{A \cdot D}{B}\right) \right\} \quad (60)$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}; \quad (61)$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{d}; \quad (62)$$

$$A = \sqrt{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta}; \quad (63)$$

$$B = \sqrt{a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta}, \quad (64)$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)}, \quad (65)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}, \quad (66)$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta}, \quad (67)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}, \quad (68)$$

где X – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м; d – эффективный диаметр пролива, м; L – дина пламени, м; θ – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра

Для площадок, расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок рассчитываются по формулам (59) ÷ (68), принимая $\theta = 0$.

Эффективный диаметр пролива d (м) рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (69)$$

где F – площадь пролива, м².

Длина пламени L (м) определяется по формулам:

- при $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21}; \quad (70)$$

- при $u_* < 1$

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (71)$$

где

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}}, \quad (72)$$

где ρ_a – плотность окружающего воздуха, кг/м³; ρ_{Π} – плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³; w_0 – скорость ветра, м/с; g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается по формуле

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases}. \quad (73)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяется по формуле

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (X - 0,5 \cdot d)]. \quad (74)$$

11.5.7. Факельное горение

Длина факела L (м) при струйном горении определяется по формуле

$$L_F = K \cdot G^{0,4}, \quad (75)$$

где G – расход продукта, кг/с; K – эмпирический коэффициент, который при истечении сжатых газов принимается равным 12,5, при истечении паровой фазы равным 13,5, при истечении жидкой фазы равным 15.

Ширина факела D (м) при струйном горении определяется по формуле

$$D_F = 0,15 \cdot L_F. \quad (76)$$

Тепловое излучение от факелов определяется по формулам (54)÷(74), принимая H равным L_F , d равным D_F .

12. ДЕРЕВО ОТКАЗОВ

Дерево отказов – логическая схема причинно-следственных закономерностей возникновения аварии, показывающая последовательность и сочетание различных событий (отказов, ошибок, нерасчетных внешних воздействий), возникновение которых может приводить к разгерметизации и последующей аварийной ситуации;

С помощью анализа дерева отказов фактически делается попытка количественно выразить риск дедуктивным методом. Деревья отказов идентифицируют событие или ситуацию, создающие риск, после чего ставится вопрос: как могло возникнуть такое событие? Ответ заключается в том, что к такому событию могло привести множество путей.

Пример «дерева отказов», используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации емкостного оборудования, приведен на рис. 10. Структура «дерева отказов» включает одно головное событие (аварию, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи. Для связи между событиями в узлах «деревьев» используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий. Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

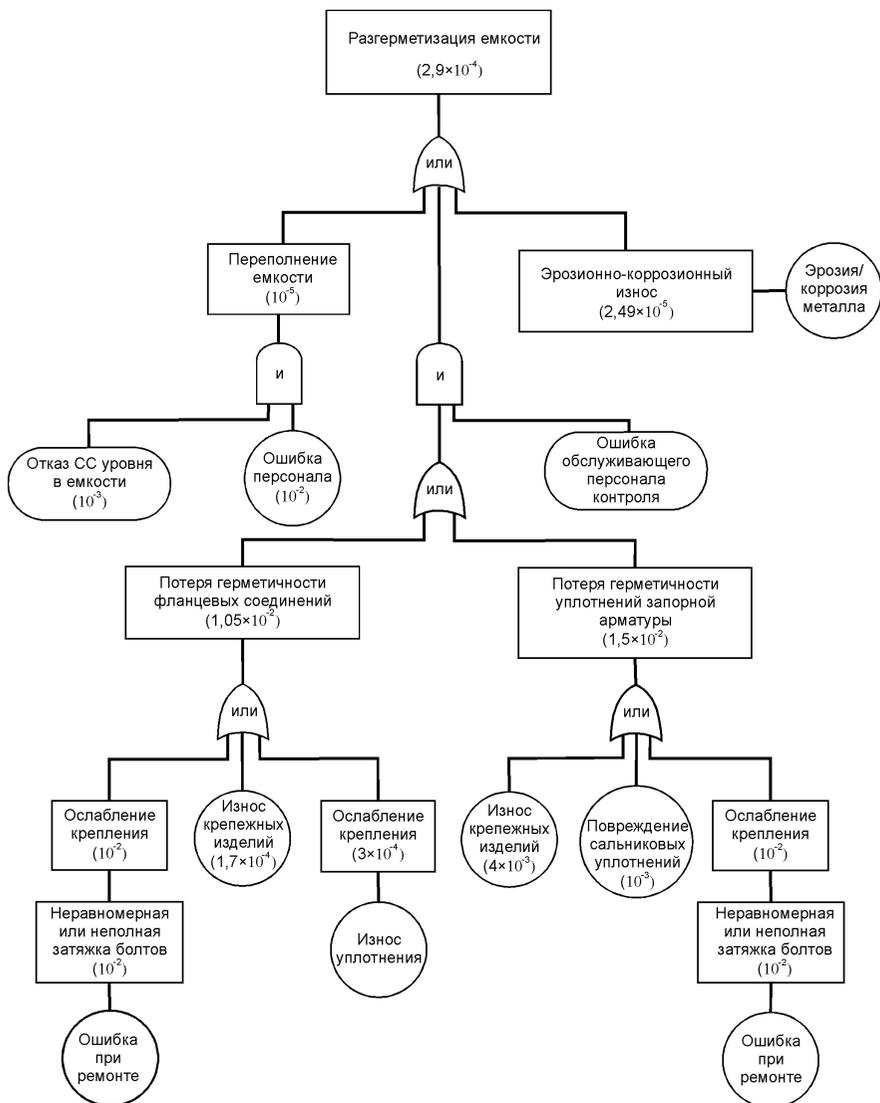


Рисунок 10. «Дерево отказов» для емкостного оборудования [2]

Символ «И» изображается в виде



Символ «ИЛИ» изображается в виде



Результирующее событие: наступает в результате конкретной комбинации неисправностей на входе логической схемы; изображается в виде прямоугольника.

Событие, означающее первичный отказ, изображается в виде кружка

Первичный отказ элемента определяют как нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние. Первичные отказы происходят при входных воздействиях, значение которых находится в пределах, лежащих в расчетном диапазоне, а отказы объясняются естественным старением элементов. Вероятность первичного отказа определяется из формул теории надежности.

При расчете вероятности возникновения аварии необходимо учитывать применяемые логические символы. Вероятность $P(A)$ выходного события A при независимости входных событий A_1, A_2, \dots, A_n определяют по формулам:

- при знаке «И»:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i); \quad (77)$$

- при знаке «ИЛИ»:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(A_i)], \quad (78)$$

где $P(A_i)$ – вероятность события A_i .

Обозначим исходные события «дерева отказов», представленного на рис. 10, цифрами (табл. 10).

Таблица 10

Исходные события «дерева отказов»

№ п/п	Событие или состояние модели	Вероятность события 1/год
1	Ошибка при ремонте	0,01
2	Износ крепежных изделий фланцевого соединения	0,00017
3	Износ уплотнения фланцевого соединения	0,0003
4	Износ крепежных изделий запорной арматуры	0,004
5	Повреждение сальниковых уплотнений запорной арматуры	0,001
6	Ошибка при ремонте	0,01
7	Отказ системы сигнализации уровня в емкости	0,0001
8	Ошибка персонала	0,01
9	Ошибка обслуживающего персонала контроля	0,01
10	Эрозия/коррозия металла	0,0000249

Качественный анализ дерева отказов заключается в определении аварийных сочетаний.

Аварийное сочетание – это определенный набор исходных событий, одновременное возникновение которых гарантирует появление конечного события.

Минимальное аварийное сочетание – это такое сочетание, в котором при удалении любого исходного события оставшиеся события вместе больше не являются аварийным сочетанием. Аварийное сочетание, включающее другие сочетания, не является минимальным аварийным сочетанием.

Анализ «дерева отказов» позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному событию (в нашем случае на рис. 10 их три), а также указать связанные с ним минимальные пропускные сочетания, минимальные отсечные сочетания.

Минимальные пропускные сочетания – это набор исходных событий-предпосылок (отмечены в таблице 10 +цифрами), обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии). Для «дерева», отображенного на рис. 10, такими событиями и (или) сочетаниями являются: (10), (1×9), (2×9), (3×9), (4×9), (5×9), (6×9), (7×8). Минимальные пропускные сочетания используются главным образом для выявления «слабых» мест.

Минимальные отсечные сочетания – набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не возникновения ни одного из составляющих этот набор событий: $(1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 10)$, $(1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 8 \times 10)$, $(7 \times 9 \times 10)$, $(8 \times 9 \times 10)$. Используются главным образом для определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии.

13. ДЕРЕВО СОБЫТИЙ

Дерево событий – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации) – используется для анализа развития аварийной ситуации (сценариев аварий), в том числе оценки вероятности реализации поражающих факторов.

Анализ дерева событий может дать ответ на вопрос: какие аварийные ситуации могут возникнуть и какие вероятности этих событий? Ответы могут быть получены с помощью анализа потенциальных сценариев аварий. **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.

Пример использования метода «дерева событий» для оценки вероятности реализации различных сценариев аварий приведен на рис. 11–14.

Дерево событий обычно рисуется слева направо и начинается с исходного события. Этим исходным событием является любое событие, которое приводит к отказу какой-либо системы. В дереве событий исходные события связаны со всеми другими возможными событиями – ветвями, а каждый сценарий представляет собой путь развития аварии, состоящий из набора таких разветвлений.

На рис. 11–14 цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения иницирующего события (разгерметизация резервуара) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается

путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность конечного события.

Определив все исходные события и организовав их в логической последовательности, можно получить большое число потенциальных сценариев аварии. С помощью анализа дерева событий можно определить пути развития аварии, которые вносят наибольший вклад в риск из-за их высокой вероятности или потенциального ущерба.

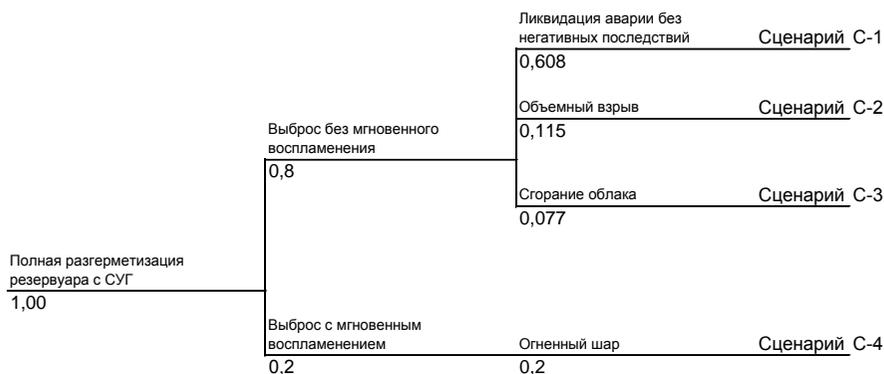


Рисунок 11. Пример «дерева событий» при полной разгерметизации резервуара с СУГ

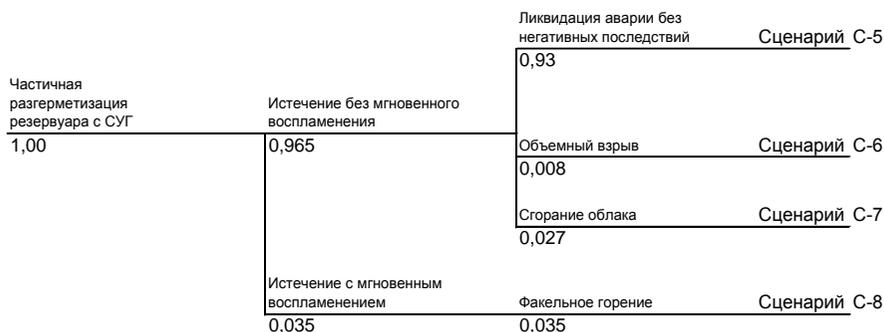


Рис. 12. Пример «дерева событий» при частичной разгерметизации резервуара с СУГ

Полная разгерметизация резервуара с ЛВЖ	1,00	Выброс без мгновенного воспламенения	Ликвидация пролива без токсического поражения	Сценарий С-1	0,543
			Токсическое поражение	Сценарий С-2	0,065
			Сгорание облака с последующим пожаром пролива	Сценарий С-4	0,077
			Объемный взрыв с последующим пожаром пролива	Сценарий С-5	0,115
			Пожар пролива	Сценарий С-6	0,2
			воспламенением		0,200

Рис. 13. Пример «дерева событий» при полной разгерметизации резервуара с ЛВЖ

Частичная разгерметизация резервуара с ЛВЖ	1,00	Истечение без мгновенного воспламенения	Ликвидация пролива без токсического поражения	Сценарий С-7	0,837
			Токсическое поражение	Сценарий С-8	0,093
			Сгорание облака с последующим пожаром пролива	Сценарий С-10	0,027
			Объемный взрыв с последующим пожаром пролива	Сценарий С-11	0,008
			Факельное горение с последующим пожаром пролива	Сценарий С-12	0,035
			Истечение с мгновенным воспламенением		0,035

Рис. 14. Пример «дерева событий» при частичной разгерметизации резервуара с ЛВЖ

14. АВАРИЙНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ

14.1. Аварийно-спасательные службы и аварийно-спасательные формирования

Согласно статье 10 федерального закона 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» организация, эксплуатирующая ОПО, обязана:

- планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО;
- заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами или с профессиональными аварийно-спасательными формированиями договоры на обслуживание, а в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, создавать собственные профессиональные аварийно-спасательные службы или профессиональные аварийно-спасательные формирования, а также нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников;
- иметь резервы финансовых средств и материальных ресурсов для локализации и ликвидации последствий аварий в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- обучать работников действиям в случае аварии или инцидента на ОПО;
- создавать системы наблюдения, оповещения, связи и поддержки действий в случае аварии и поддерживать указанные системы в пригодном к использованию состоянии.

Аварийно-спасательная служба – это совокупность органов управления, сил и средств, предназначенных для решения задач по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, функционально объединенных в единую систему, основу которой составляют аварийно-спасательные формирования.

Аварийно-спасательное формирование – это самостоятельная или входящая в состав аварийно-спасательной службы структура, предназначенная для проведения аварийно-спасательных работ, основу которой составляют подразделения спасателей, оснащенные специальными техникой, оборудованием, снаряжением, инструментами и материалами.

Основными задачами аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований, которые в обязательном порядке возлагаются на них, являются:

- поддержание органов управления, сил и средств аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований в постоянной готовности к выдвигению в зоны чрезвычайных ситуаций и проведению работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций;

- контроль за готовностью обслуживаемых объектов и территорий к проведению на них работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций;

- ликвидация чрезвычайных ситуаций на обслуживаемых объектах или территориях.

Нештатные аварийно-спасательные формирования (НАСФ) создаются организациями из числа своих работников в обязательном порядке, если это предусмотрено законодательством Российской Федерации, или по решению администраций организаций в порядке, предусмотренном законодательством Российской Федерации.

Привлечение аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований к ликвидации чрезвычайных ситуаций осуществляется:

- в соответствии с планами предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на обслуживаемых указанными аварийно-спасательными службами, аварийно-спасательными формированиями объектах и территориях;

- в соответствии с планами взаимодействия при ликвидации чрезвычайных ситуаций на других объектах и территориях;

- установленным порядком действий при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций;

- по решению уполномоченных на то должностных лиц федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, организаций и общественных объединений, осуществляющих руководство деятельностью указанных аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований либо имеющих на то установленные законодательством Российской Федерации полномочия на основе запроса федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, организаций, на территории которых сложились чрезвычайные

ситуации или к полномочиям которых отнесена ликвидация указанных чрезвычайных ситуаций, на основе запроса руководителей ликвидации чрезвычайных ситуаций либо по согласованию с указанными органами и руководителями ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Для обеспечения быстрого сосредоточения сил и средств на участке аварии объектовые аварийно-спасательные формирования должны быть дислоцированы таким образом, чтобы всем газо-, взрыво- и пожароопасным объектам могла быть оказана своевременная и эффективная помощь. Время прибытия аварийно-спасательного формирования на аварию на обслуживаемом объекте не должно превышать 3 минуты в дневное время и 5 минут в ночное время суток с момента поступления извещения об аварии в аварийно-спасательное формирование.

14.2. Действия ответственного руководителя, работников опасного производственного объекта по локализации и ликвидации аварий и их последствий

Каждая авария может иметь несколько стадий развития и при определенных условиях может быть локализована или перейти на более высокий уровень (с большей степенью действия поражающих факторов).

Для каждой стадии развития аварии устанавливается соответствующий уровень («А», «Б» и «В»). На уровне «А» авария характеризуется ее развитием в пределах одного ОПО или его составляющей. На уровне «Б» авария характеризуется ее выходом за пределы ОПО или его составляющей и развитием ее в пределах границ предприятия. На уровне «В» авария характеризуется развитием и выходом ее поражающих факторов за пределы границ предприятия.

Порядок действий персонала по локализации и ликвидации аварий и их последствий приводится в оперативной части Плана локализации и ликвидации аварий (далее ПЛА).

Действия ответственного руководителя, работников ОПО по локализации и ликвидации аварий и их последствий:

1. Руководство работами по локализации и ликвидации аварий, спасению людей и снижению воздействия опасных факторов осуществляется Ответственным руководителем.

2. Для принятия эффективных мер по локализации и ликвидации аварии Ответственным руководителем создается командный пункт (оперативный штаб), функциями которого являются:

- сбор и регистрация информации о ходе развития аварии и принятых мерах по ее локализации и ликвидации;
- текущая оценка информации и принятие решений по оперативным действиям в зоне действия поражающих факторов аварии и за ее пределами;
- координация действий персонала ОПО и всех привлеченных подразделений и служб, участвующих в локализации и ликвидации аварии.

3. Вышестоящий руководитель может заменить Ответственного руководителя или принять на себя руководство локализацией и ликвидацией аварии.

4. На командном пункте рекомендуется находиться только лицам, непосредственно участвующим в локализации и ликвидации аварии.

5. На командном пункте Ответственным руководителем организуется ведение журнала ликвидации аварии, где фиксируются выданные задания и результаты их выполнения по времени.

6. Лица, вызванные для спасения людей и локализации и ликвидации аварии, сообщают о своем прибытии Ответственному руководителю и по его указанию приступают к исполнению своих обязанностей.

7. Лица, участвующие в ликвидации аварий, информируют Ответственного руководителя о ходе выполнения его распоряжений.

8. Работы в загазованной среде выполняются аварийно-спасательными формированиями (профессиональными и (или) нештатными), аттестованными на этот вид аварийно-спасательных работ в установленном порядке.

9. Ответственным руководителем является:

- на уровне «А» развития аварии - начальник структурного подразделения ОПО (цеха, производственного участка, установки), до его прибытия на место аварии - начальник смены (отделения), сменный мастер;

- на уровне «Б» развития аварии - руководитель организации (должностное лицо, в обязанности которого входит обеспечение выполнения требований промышленной безопасности при эксплуатации ОПО), до его прибытия на место аварии - диспетчер

организации (начальник структурного подразделения, производства, цеха, установки).

10. Ответственным руководителем:

10.1. На уровне «А» развития аварии:

- оценивается обстановка, выявляется количество и местонахождение людей, застигнутых аварией, принимаются меры по оповещению работников ОПО и населения (при необходимости) об аварии;

- принимаются меры по оцеплению района аварии и зоны действия поражающих факторов;

- принимаются неотложные меры по организации спасения людей, локализации и ликвидации аварии;

- обеспечивается вывод из опасной зоны людей, которые не принимают непосредственного участия в локализации и ликвидации аварии;

- ограничивается допуск людей и транспортных средств в зону действия поражающих факторов;

- привлекаются к аварийной остановке производств только те лица из числа работников ОПО, которые подготовлены, оснащены в соответствии с табелем технического оснащения членов нештатного аварийно-спасательного формирования, и аттестованы в установленном порядке.

- контролируется правильность действий работников ОПО, а в случае необходимости - действия специализированных, пожарных, медицинских подразделений по спасению людей, локализации и ликвидации аварий на производстве и выполнение своих распоряжений;

- информируется об аварии руководство ОПО, территориальные органы Ростехнадзора России, Государственной инспекции труда, территориальные органы МЧС России, а при необходимости - органы местного самоуправления о ходе и характере аварии, о пострадавших в ходе спасательных работ.

10.2. На уровне «Б» развития аварии, дополнительно к действиям, перечисленным в пункте 10.1, Ответственным руководителем:

- в случае изменения места расположения командного пункта оповещаются все лица, привлекаемые к работам по локализации и ликвидации аварии;

- осуществляется руководство действиями работников ОПО, специализированных, пожарных, медицинских подразделений по спасению людей, локализации и ликвидации аварии на объекте и контролируется выполнение распоряжений.

11. Должностным лицом, в обязанности которого входит обеспечение выполнения требований промышленной безопасности при эксплуатации ОПО:

- обеспечивается немедленное прибытие в организацию, сообщение об этом Ответственному руководителю, и организация оказания своевременной помощи пострадавшим, принятие необходимых мер по привлечению опытных рабочих и специалистов (из числа руководящих работников и специалистов) в бригады для дежурства и выполнения необходимых работ, связанных с локализацией или ликвидацией аварии, а также своевременной доставки необходимых материалов и оборудования, работа аварийных и материальных складов и доставка материалов, инструмента к месту аварии, руководство работой транспорта, привлекаемого для ликвидации аварии, при аварийных работах продолжительностью более 6 часов организация питания и отдыха всех лиц, привлекаемых к ликвидации аварии;

- обеспечивается введение в действие в случае необходимости резервных систем жизнеобеспечения, сигнализации и противоаварийной защиты;

- обеспечивается информирование в установленном порядке должностных лиц, ведомств и организаций о результатах выполненного при разработке ПЛА анализа опасности организации (объекта), о возможности проявления действия опасных факторов аварии за пределами территории организации, о характере и потенциальной тяжести происшествия;

- обеспечивается взаимодействие с органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации (комиссией по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций) и органами местного самоуправления.

12. Диспетчером организации:

- при получении сообщения об аварии немедленно прекращаются переговоры, не имеющие непосредственного отношения к происшедшей аварии, и обеспечивается извещение о ней работников ОПО, его структурных подразделений и сторонних организаций согласно списку оповещения;

- при аварии уровня «Б» до прибытия должностного лица, в обязанности которого входит обеспечение выполнения требований промышленной безопасности при эксплуатации ОПО, выполняются обязанности Ответственного руководителя;

- по прибытии должностного лица, в обязанности которого входит обеспечение выполнения требований промышленной безопасности при эксплуатации ОПО, осуществляется его информирование о состоянии работ по спасению людей, локализации и ликвидации аварии.

13. Руководителем специализированной службы осуществляется:

- руководство работами по локализации и ликвидации аварии в соответствии с заданиями Ответственного руководителя и оперативной частью ПЛА;

- поддержание постоянной связи с Ответственным руководителем в организации и, по согласованию с ним, определение газоопасной зоны, установка предупредительных знаков и дежурных постов из членов НАСФ на границе газоопасной зоны;

- до прибытия на место аварии Ответственного руководителя работы в соответствии с мероприятиями ПЛА проводятся самостоятельно.

14. Начальником структурного подразделения, где произошла авария:

- выполняются распоряжения диспетчера организации и далее Ответственного руководителя;

- до прибытия на место аварии Ответственного руководителя выполняются его обязанности, руководствуясь ПЛА;

15. Начальником смены структурного подразделения, в котором произошла авария:

- немедленно сообщается о ней диспетчеру организации, в НАСФ, пожарную часть организации и начальнику структурного подразделения;

- до прибытия Ответственного руководителя осуществляется организация и начало ведения работ по спасению людей и локализации и ликвидации аварии в соответствии с мероприятиями ПЛА и создавшейся обстановкой.

16. Заместителем начальника структурного подразделения, в котором произошла авария:

- собирается НАСФ из числа работников структурного подразделения, обученных и аттестованных в установленном порядке, и осуществляется руководство их работой по локализации и ликвидации аварии;

- докладывается Ответственному руководителю о текущем состоянии технологического процесса с целью предупреждения возможных дальнейших осложнений и создания необходимых условий для успешной локализации и ликвидации аварии;

- в зависимости от обстановки осуществляется нормальный технологический режим на режим безопасной останковки или его останковка.

17. Работниками структурного подразделения, в котором произошла авария:

- немедленно сообщается об аварии непосредственному руководителю, а при его отсутствии - диспетчеру организации;

- принимаются меры по выводу людей из опасной зоны и локализации и ликвидации аварии в соответствии с ПЛА;

- при необходимости (согласно ПЛА или по указанию Ответственного руководителя), отключаются аппараты, установки, агрегаты, коммуникации и останавливается технологический процесс.

18. Руководителями служб главного механика, главного энергетика, главного технолога, главного метролога ОПО:

- обеспечивается создание специализированных бригад из указанных служб для выполнения работ по локализации и ликвидации аварии и восстановлению нормальной работы производства;

- по указанию Ответственного руководителя работ обеспечивается включение или отключение электроэнергии, работу электромеханического и энергетического оборудования, сигнализации, средств связи, функционирование паровых, тепловых и других сетей.

19. Инженерно-техническими работниками, мастерами, бригадирами и рабочими других структурных подразделений, получившими информацию об аварии, выполняются необходимые мероприятия в соответствии с ПЛА и докладывается о своих действиях Ответственному руководителю.

20. Начальником пожарной части в соответствии с действующими в пожарной части руководящими документами и инструкциями, с учетом конкретной обстановки на месте аварии и оперативной части ПЛА:

- организовывается своевременный вывод резервной и свободной смен пожарной части на место аварии;

- осуществляется руководство работами по тушению пожара;
- поддерживается постоянная связь с Ответственным руководителем;
- обеспечивается взаимодействие и координацию действий с аварийно-спасательными формированиями и специализированными службами.

21. Работниками медицинского пункта (здравпункта) организации с учетом оперативной части ПЛА и действующими в здравпункте руководящими документами и инструкциями осуществляется немедленный выезд по вызову на место аварии и, при необходимости, оказание первой медицинской помощи пострадавшим.

15. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ

В исследованиях по проблеме риска возникло отдельное направление работ под общим названием «Управление риском».

Управление риском (*risk management*) - это часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде

Для процесса управления риском существует несколько названий как в нашей стране (обеспечение промышленной безопасности), так и за рубежом (“safety management”, “management of process hazards”), которые фактически являются синонимами.

Под этими терминами понимается совокупность мероприятий, направленных на снижение уровня технологического риска, уменьшение потенциальных материальных потерь и других негативных последствий аварий. По сути дела, речь идет о предотвращении возникновения аварийных ситуаций на производстве и мерах по локализации негативных последствий в тех случаях, когда аварии произошли.

Особенностью этого направления является комплексность, включающая в себя различные аспекты - технические, организационно-управленческие, социально-экономические, медицинские, биологические и др.

С целью снижения риска производственной деятельности для персонала, населения, окружающей среды осуществляют **мониторинг, ограничения, защиту.**

Мониторинг - это постоянный сбор информации, наблюдение и контроль за объектом, включающий процедуры анализа риска, измерения параметров технологического процесса, выбросов вредных веществ, состояния окружающей среды на прилегающих к объекту территориях.

Ограничения - заключаются в лимитировании для персонала временных и пространственных параметров производственных процессов и условий работы, связанных с источниками опасности, а для населения - в установлении санитарно-защитных зон для исключения воздействия вредных факторов при нормальной эксплуатации объекта и поражающих факторов при аварии.

Защита - это принятие специфических для рассматриваемого объекта мер безопасности и мер защиты. Меры безопасности - меры, препятствующие возникновению ситуаций, когда лица из персонала могут подвергнуться воздействию вредных и поражающих факторов, сопровождающих нормальную работу объекта. Меры защиты - это физические барьеры на пути распространения вредных и поражающих факторов при нормальной эксплуатации и в случае аварий.

Защита является составной частью мер обеспечения безопасности, представляет собой комплекс специфических мероприятий и проводится с целью обеспечения сохранности жизни и здоровья персонала и населения, целостности и функциональных возможностей материальных объектов и окружающей среды. Сущность защиты - в возведении физических барьеров, которые препятствуют доступу вредных воздействий к защищаемому объекту, будь то человек, сооружение или природный комплекс, снижают уровень этого воздействия или нейтрализуют его.

Управление техногенным риском, управление безопасностью профессиональной деятельности по большому счету сводится к разработке и реализации программ деятельности по предотвращению аварий, снижению их возможных последствий, обеспечению мониторинга, ограничений и защиты в процессе производственной деятельности. Цель этого управления - достижение приемлемого уровня риска.

В качестве примеров реальных мер, осуществляемых с целью управления техногенным риском, могут быть названы:

- мониторинг состояния техногенных объектов;
- прогнозирование чрезвычайных ситуаций техногенного характера и оценка их риска;

- рациональное размещение производительных сил по территории страны с точки зрения техногенной безопасности;
- предотвращение аварий и техногенных катастроф путем повышения технологической безопасности производственных процессов и эксплуатационной надежности оборудования;
- разработка и осуществление инженерно-технических мер по снижению возможных потерь и ущерба от чрезвычайных ситуаций (смягчению их возможных последствий) на конкретных объектах и территориях;
- подготовка объектов экономики и систем жизнеобеспечения населения к работе в условиях чрезвычайных ситуаций;
- декларирование промышленной безопасности и лицензирование видов деятельности в области промышленной безопасности;
- проведение государственной экспертизы в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- проведение государственного надзора и контроля по вопросам и техногенной безопасности;
- страхование техногенных рисков;
- информирование населения о потенциальных техногенных угрозах на территории проживания;
- осуществление мер защиты персонала и населения, проживающего на территориях, прилегающих к потенциально опасным объектам;
- поддержание в готовности органов управления, сил и средств, предназначенных в случае аварий для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ и т.д.

Важную роль в управлении техногенным риском играют экономические механизмы.

15.1. Экономические механизмы управления риском

Анализ отечественного и зарубежного опыта в области разработки в области разработки и применения экономических форм снижения уровня техногенной опасности и риска показывает, что разработаны и используются на практике различные механизмы управления безопасностью и риском:

- механизмы экономической ответственности;
- фондовые механизмы и механизмы бюджетного финансирования;

- механизмы резервирования финансовых, трудовых и материальных ресурсов;
- механизмы стимулирования повышения уровня безопасности (льготное налогообложение и кредитование);
- механизмы перераспределения риска и страхование;
- применение штрафных санкций.

При подготовке и принятии управленческих решений на основе выбранных экономических механизмов важная роль отводится оценке эффективности анализируемых вариантов действий

Простейшая оптимизационная постановка задачи в теории безопасности и риска может рассматриваться как вероятностная модификация обычного критерия наименьшей стоимости. Рассматривая в качестве целевой функции стоимость объекта $C(a)$ в зависимости от конструктивных или технологических параметров a из допустимой области значений A , критерий для нахождения вектора параметров a можно записать в виде

$$C(a) \rightarrow \min_a, H(a) \leq H^*, a \in A,$$

где H^* – минимально допускаемое нормативное значение технического риска.

Наряду с критерием минимальной стоимости можно сформулировать сопряженный ему критерий минимального технического риска:

$$H(a) \rightarrow \min_a, C(a) \leq C^*, a \in A,$$

где C^* – максимально допустимое значение стоимости.

Вместо начальной стоимости $C(a)$ можно минимизировать математическое ожидание от суммы начальной стоимости (величины капитальных вложений) и расходов, связанных с эксплуатацией объекта, включая возмещение ущерба от аварий. В простейшем случае оптимизационная задача принимает вид

$$C_0(a) + H(a)V(a) \rightarrow \min_a, H(a) \leq H^*, a \in A,$$

где $V(a)$ – ущерб, связанный с аварией.

15.2. Нормативное регулирование безопасности и риска

15.2.1. Декларирование промышленной безопасности

Декларирование промышленной безопасности ОПО одна из немногих отечественных процедур, правила проведения которой на законодательном уровне гармонизированы с международными документами (конвенция МОТ № 174 «О предотвращении крупных промышленных аварий», конвенция ООН «О трансграничном воздействии промышленных аварий», директивы ЕС «Севезо» № 82/501/ЕЭС и № 96/82/ЕЭС и др.).

В Российской Федерации нормативным документом, устанавливающим необходимость разработки декларации безопасности, является вышедший в 1997 году Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ.

В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» разработка декларации промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с нею угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации ОПО в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на ОПО; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО.

Декларация промышленной безопасности разрабатывается в составе проектной документации на строительство, реконструкцию ОПО, а также документации на техническое перевооружение, консервацию, ликвидацию ОПО.

Декларация промышленной безопасности находящегося в эксплуатации ОПО разрабатывается вновь:

- в случае истечения десяти лет со дня внесения в реестр деклараций промышленной безопасности последней декларации промышленной безопасности;

- в случае изменения технологических процессов на ОПО либо увеличения более чем на двадцать процентов количества опасных веществ, которые находятся или могут находиться на ОПО;

- в случае изменения требований промышленной безопасности;

- по предписанию федерального органа исполнительной власти в области промышленной безопасности или его территориального органа в случае выявления несоответствия сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, сведениям, полученным в ходе осуществления федерального государственного надзора в области промышленной безопасности.

Основная цель декларирования промышленной безопасности – информирование (эксплуатирующей организацией или заказчиком проекта, застройщиком, владельцем объекта) исполнительных органов власти (в том числе надзорных органов), общества и населения о рисках крупных аварий и безопасности ОПО.

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» декларация промышленной безопасности обязательно разрабатывается на объекты I и II классов опасности.

15.2.2. Разработка мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций

При разработке мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций на стадии разработки проекта строительства предусматриваются:

- установление перечня опасных производств с определением опасных веществ и их количества для каждого производства;

- определение зон поражающего воздействия источника чрезвычайной ситуации с указанием применяемых для этого методик расчетов;

- определение численности и размещения производственного персонала проектируемого объекта, объектов и/или организаций, которые могут оказаться в зоне поражающего воздействия источника чрезвычайной ситуации;

- определение численности и размещения населения на прилегающей территории к зоне поражающего воздействия источника чрезвычайной ситуации;

- решения по исключению разгерметизации оборудования и предупреждению выбросов опасных веществ в количествах, создающих угрозу населению и территории;

- устройство систем контроля радиационной, химической обстановки, обнаружения взрывоопасных концентраций;
- решения, направленные на предупреждение развития и локализацию чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами (сбросами) опасных веществ;
- решения по обеспечению безопасности населения при возможных взрывах и пожарах;
- устройство систем автоматического регулирования, блокировок, сигнализаций, а также безаварийной остановки производств, представляющих реальную угрозу населению и территории в случае аварии;
- решения по обеспечению противоаварийной устойчивости пунктов и систем управления производственным процессом, безопасности находящегося в нем персонала и возможности управления процессом при аварии;
- резервирование источников электро-, тепло-, газо- и водоснабжения, а также систем связи;
- создание резервов материальных средств для ликвидации последствий аварий на проектируемом объекте;
- решения по предотвращению постороннего вмешательства в деятельность объекта (по системам физической защиты и охраны объекта);
- системы оповещения о чрезвычайных ситуациях;
- решения по обеспечению беспрепятственной эвакуации людей с территории объекта;
- решения по обеспечению беспрепятственного ввода и передвижения на проектируемом объекте сил и средств ликвидации чрезвычайных ситуаций.

15.2.3. Разработка паспортов безопасности

Паспорт безопасности необходим для ОПО, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются следующие опасные вещества:

а) воспламеняющиеся вещества - газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20°C или ниже;

б) окисляющие вещества - вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

в) горючие вещества - жидкости, газы, пыли, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления;

г) взрывчатые вещества - вещества, которые при определенных видах внешнего воздействия способны на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

д) токсичные вещества - вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 до 200 мг на килограмм включительно;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 до 400 мг на килограмм включительно;

- средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 до 2 мг на литр включительно;

е) высокотоксичные вещества - вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 мг на килограмм;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 мг на килограмм;

- средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 мг на литр;

ж) вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды - вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 мг на литр;

- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 мг на литр;

- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 часов не более 10 мг на литр;

2) используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 мегапаскаля или при температуре нагрева воды более 115°C;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают расплавы черных и цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов;

5) ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

Паспорт безопасности разрабатывается в целях:

- определения показателей степени риска чрезвычайных ситуаций для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения;

- определения возможных сценариев возникновения аварийной ситуации и ее развития;

- оценки возможных последствий чрезвычайных ситуаций на опасном объекте;

- определения готовности организации к ликвидации аварийных ситуаций на ОПО;

- разработки мероприятий, направленных на повышение противоаварийной защиты и снижение масштабов последствий аварий

15.2.4. Лицензирование

Лицензирование деятельности ОПО является составной частью социально-экономического механизма обеспечения безопасности населения и защиты окружающей среды от аварий на потенциально опасных промышленных объектах.

Лицензия – специальное разрешение на право осуществления юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем (лицензиатом) конкретного вида деятельности (выполнения работ, оказания услуг, составляющих лицензируемый вид деятельности), которое подтверждается документом, выданным лицензирующим органом

Лицензии выдаются федеральным органом исполнительной власти, специально уполномоченным в области промышленной безопасности.

Для получения лицензии на эксплуатацию ОПО заявитель должен предоставить:

- реквизиты документов, подтверждающих ввод в эксплуатацию объектов (орган, выдавший документы, адрес места его нахождения, дата и номер регистрации документов), а в случае отсутствия таких документов - реквизиты регистрации положительных заключений экспертизы промышленной безопасности на здания и сооружения на объектах в реестре заключений экспертизы промышленной безопасности;

- реквизиты документов, подтверждающих соответствие технических устройств, планируемых для применения на объектах, требованиям технических регламентов, или реквизиты регистрации положительных заключений экспертизы промышленной безопасности на технические устройства, планируемые для применения на объектах, в реестре заключений экспертизы промышленной безопасности;

- копию положения о системе управления промышленной безопасностью в случаях, предусмотренных статьей 11 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

- копию положения о производственном контроле за соблюдением требований промышленной безопасности на объектах;

- копии планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на объектах;

- копии документов, подтверждающих аттестацию руководителя (заместителя руководителя) соискателя лицензии в области промышленной безопасности;

- копии документов, подтверждающих наличие резервов финансовых средств и материальных ресурсов для локализации и ликвидации последствий аварий;

- реквизиты деклараций промышленной безопасности взрывопожароопасных производственных объектов соискателя лицензии, в отношении которых Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» установлена обязательность разработки указанных деклараций

- перечень приборов и систем контроля, управления, сигнализации и противоаварийной автоматической защиты технологических процессов, планируемых к использованию на взрывопожароопасных производственных объектах;

- копии договоров на обслуживание с профессиональными аварийно-спасательными службами или формированиями и (или) распорядительных документов соискателя лицензии об организации собственных профессиональных аварийно-спасательных служб, а также копии документов, подтверждающих аттестацию профессиональных аварийно-спасательных служб или формирований в соответствии Федеральным законом «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей»;

- копии страховых полисов обязательного страхования гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии на объекте, оформленных в соответствии с федеральными законами «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» и др.

15.2.5. Экспертиза промышленной безопасности

Экспертиза промышленной безопасности (ЭПБ) – оценка соответствия объекта экспертизы требованиям и нормам безопасной эксплуатации прописанным в федеральных нормах и правилах промышленной безопасности, а так же иных документах РФ по промышленной безопасности.

Экспертизе промышленной безопасности подлежат:

- документация на консервацию, ликвидацию ОПО;
- документация на техническое перевооружение ОПО в случае, если указанная документация не входит в состав проектной документации такого объекта, подлежащей экспертизе в соответствии с законодательством о градостроительной деятельности;

- технические устройства, применяемые на ОПО, в случаях, установленных статьей 7 настоящего Федерального закона;

- здания и сооружения на ОПО, предназначенные для осуществления технологических процессов, хранения сырья или продукции, перемещения людей и грузов, локализации и ликвидации последствий аварий;

- декларация промышленной безопасности, разрабатываемая в составе документации на техническое перевооружение (в случае, если указанная документация не входит в состав проектной документации опасного производственного объекта, подлежащей экспертизе в

соответствии с законодательством о градостроительной деятельности), консервацию, ликвидацию ОПО, или вновь разрабатываемая декларация промышленной безопасности;

- обоснование безопасности ОПО, а также изменения, вносимые в обоснование безопасности ОПО.

Результатом осуществления экспертизы промышленной безопасности является заключение.

15.2.6. Обоснование безопасности опасного производственного объекта

В случае, если при эксплуатации, капитальном ремонте, консервации или ликвидации ОПО требуется отступление от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, таких требований недостаточно и (или) они не установлены, лицом, осуществляющим подготовку проектной документации на строительство, реконструкцию ОПО, могут быть установлены требования промышленной безопасности к его эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации в обосновании безопасности опасного производственного объекта (ОБ ОПО).

ОБ ОПО – документ содержащий дополнительные требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации ОПО, подтвержденные результатами оценки риска аварии на ОПО и анализом условий его безопасной эксплуатации с учетом имеющихся отступлений.

15.2.7. Государственный контроль и надзор за промышленной безопасностью

Задачей федерального государственного надзора в области промышленной безопасности является предупреждение, выявление и пресечение нарушений осуществляющими деятельность в области промышленной безопасности юридическими лицами, их руководителями и иными должностными лицами, индивидуальными предпринимателями, их уполномоченными представителями (далее - юридические лица и индивидуальные предприниматели) требований, установленных Федеральным законом «О промышленной безопасности

опасных производственных объектов», другими федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами Российской Федерации в области промышленной безопасности (далее - обязательные требования).

Федеральный государственный надзор осуществляется Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и иными уполномоченными федеральными органами исполнительной власти.

Предметом федерального государственного надзора является соблюдение юридическим лицом и индивидуальным предпринимателем в процессе осуществления деятельности в области промышленной безопасности обязательных требований, а также соответствие обязательным требованиям используемых зданий, помещений, сооружений, технических устройств, оборудования, материалов и осуществляемых технологических процессов.

Федеральный государственный надзор ведется за осуществлением юридическим лицом и индивидуальным предпринимателем следующих видов деятельности в области промышленной безопасности:

а) проектирование, эксплуатация, капитальный ремонт, техническое перевооружение, консервация и ликвидация опасного производственного объекта;

б) изготовление, монтаж, наладка, обслуживание и ремонт технических устройств, применяемых на ОПО;

в) проведение экспертизы промышленной безопасности;

г) подготовка и переподготовка работников опасного производственного объекта в необразовательных учреждениях.

Основанием для включения плановой проверки в ежегодный план проведения плановых проверок является истечение одного года со дня:

а) принятия в порядке, установленном Правительством Российской Федерации, решения о вводе в эксплуатацию после строительства, технического перевооружения, реконструкции и капитального ремонта опасного производственного объекта, в том числе используемых при эксплуатации ОПО зданий, помещений, сооружений, технических устройств, оборудования и материалов;

б) регистрации ОПО в государственном реестре опасных производственных объектов;

в) окончания проведения последней плановой проверки.

15.2.8. Разработка планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий

Согласно закону №116-ФЗ организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана планировать и осуществлять мероприятия по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте.

Для ОПО I, II, III класса опасности (в соответствии с Приложением 2 Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»), зарегистрированных в реестре опасных производственных объектов, разрабатываются планы мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий.

Планы мероприятий разрабатываются в целях обеспечения готовности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на таких объектах.

План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах предусматривает:

а) возможные сценарии возникновения и развития аварий на объекте;

б) достаточное количество сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на объекте (далее - силы и средства), соответствие имеющихся на объекте сил и средств задачам ликвидации последствий аварий, а также необходимость привлечения профессиональных аварийно-спасательных формирований;

в) организацию взаимодействия сил и средств;

г) состав и дислокацию сил и средств;

д) порядок обеспечения постоянной готовности сил и средств к локализации и ликвидации последствий аварий на объекте с указанием организаций, которые несут ответственность за поддержание этих сил и средств в установленной степени готовности;

е) организацию управления, связи и оповещения при аварии на объекте;

ж) систему взаимного обмена информацией между организациями - участниками локализации и ликвидации последствий аварий на объекте;

з) первоочередные действия при получении сигнала об аварии на объекте;

и) действия производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;

к) мероприятия, направленные на обеспечение безопасности населения;

л) организацию материально-технического, инженерного и финансового обеспечения операций по локализации и ликвидации аварий на объекте.

В ряде случаев в дополнение к ПМЛА разрабатывается план локализации и ликвидации аварий (ПЛА).

ПЛА разрабатывается для каждого ОПО химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности.

В ПЛА предусматривают действия персонала по предупреждению аварий, а в случае их возникновения - по локализации и максимальному снижению тяжести последствий, а также технические системы и средства, используемые при этом.

План локализации и ликвидации аварий (ПЛА) разрабатывается в целях:

1. планирования действий персонала ОПО и специализированных служб на различных уровнях развития ситуаций;

2. определения готовности организации к локализации и ликвидации аварий на ОПО;

3. выявления достаточности принятых мер по предупреждению аварий на объекте;

4. разработки мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО.

15.3. Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем

Пути обеспечения надежности разнообразны и могут быть связаны с повышением стойкости изделия к внешним воздействиям. Например, для механических систем относят методы создания прочных, жестких, износостойких узлов за счет их рациональной конструкции, применение материалов с высокой прочностью, износостойкостью, антикоррозийностью, теплостойкостью и т.д. Другой путь обеспечения достаточной надежности - это их изоляция от вредных воздействий: установка машины на фундамент, защита поверхностей от запыления и загрязнения, создание специальных

условий по температуре и влажности, применение антикоррозийных покрытий, виброизолирующих устройств и т.д.

Активным средством для решения проблемы надежности и безопасности является применение автоматики для обеспечения длительного выполнения системой своего служебного назначения в различных условиях эксплуатации.

Не менее значимым является обучение персонала вопросам безопасной эксплуатации технических систем. Для недопущения отказов конструктивного, производственного и эксплуатационного характера существуют типовые мероприятия, методы и средства предупредительного, контролирующего и защитного характера, обеспечивающие надежность и безопасность технических систем. Их применяют на различных этапах жизненного цикла системы - в процессе проектирования, на последующих стадиях создания и эксплуатации системы.

15.3.1. Стадия проектирования технических систем

Предупредительные: использование отработанных методов и средств обеспечения надежности; анализ альтернативных проектно-конструкторских решений и выбор наилучших; создание запасов работоспособности по нагрузкам и отказам различных видов; использование резервирования; выбор высоконадежных комплектующих элементов, материалов; создание контролепригодных и ремонтпригодных элементов; обучение проектантов, конструкторов, испытателей передовым методам и способам обеспечения надежности; установление проектных норм надежности и норм испытаний при экспериментальной отработке; разработка новых средств контроля и диагностики.

Контрольные: экспериментальная проверка технических решений, особенно новых; проверка всех режимов функционирования; автономные и комплексные испытания; контроль и корректировка конструкторской документации; экспериментальная проверка запасов работоспособности во всех режимах функционирования; контроль надежности; контроль качества труда исполнителей, самоконтроль.

Защитные: анализ видов и последствий отказов; введение специальных приборов в состав системы, обеспечивающих безопасность при возникновении отказов; отработка основных отказовых режимов функционирования; тренировка персонала;

реализация технических решений по локализации отказов; применение оперативного контроля и управление функционированием; обеспечение сохранения работоспособности элемента при отказах в системах; разработка системы обслуживания и восстановления техники.

15.3.2. Стадия изготовления технических систем

Предупредительные: выбор прогрессивных и стабильных технологических процессов; отработка новых технологических процессов и средств контроля до начала пуска производства; отработка и корректировка технологической документации; обучение и аттестация производственного персонала к работе на ответственных операциях; надзор за состоянием производственного оборудования и средств контроля.

Контрольные: проведение входного пооперационного и выходного контроля; проверка режимов запасов; контрольно-технологические испытания; контроль качества труда исполнителей, самоконтроль; авторский надзор; контроль качества и стабильности технологических процессов.

Защитные: использование избыточности (дублирование) в оборудовании и средствах контроля; введение блокировок в ответственные технологические процессы; разработка системы обслуживания и восстановления производственного оборудования и средств контроля.

15.3.3. Стадия эксплуатации технических систем

Предупредительные: использование автоматизированных средств контроля и поиска неисправностей; отработка эксплуатационно-технической документации; проведение предварительных регламентных работ; оценка и прогнозирование технического состояния и надежности; аттестация и обучение персонала.

Контрольные: автоматизированная регистрация и обработка информации о командах, отказах и неисправностях; контроль качества; самоконтроль; гарантийный надзор.

Защитные: проведение оперативных доработок; использование автоматических средств защиты; использование

запасных частей, обменного фонда; анализ последствий отказов и реализация защитных мероприятий; обучение и аттестация персонала для работы при возникновении отказов.

15.3.4. Техническая поддержка и обеспечение

Технические средства (элементная база, экспериментальные и производственные возможности) являются важнейшей составной частью активных средств, позволяющих, в конечном счете, добиться высокой безопасности и эффективности техники. Отсутствие материально-технической основы высокой надежности техники не может быть скомпенсировано другими средствами обеспечения (организацией работ, реализацией программного подхода, методического, нормативного или информационного обеспечения).

Уровень технического обеспечения зависит от следующих факторов:

- уровня качества и надежности материалов, полуфабрикатов, электро- и радиодеталей, комплектующих элементов, агрегатов и изделий общего назначения, выпускаемых промышленностью и используемых в составе технических систем;
- технического уровня, номенклатуры, количества, производительности, автоматизации технических средств для проектирования, конструирования, отработки, производства, контроля и эксплуатации сложных изделий;
- уровня автоматизации и оперативного сбора, обработки, обмена информацией для планирования, координации и контроля за ходом создания и применения изделий.

Для создания высоконадежных и эффективных систем необходимо, чтобы новые материалы, электронные изделия и др. комплектующие обладали высокими показателями надежности, достаточными для практически безотказной эксплуатации перспективных систем в определенных для них условиях в течение срока эксплуатации, равного сроку их морального старения. Чем сложнее создаваемые системы, тем больше в системе причин и источников отказов, тем проблематичнее возможность обеспечения надежности на уже достигнутом научно-техническом уровне технических средств проектирования, конструирования, экспериментальной отработки, производства и эксплуатации

15.3.5. Технические средства обеспечения надежности и безопасности технических систем

Все технические средства обеспечения надежности и безопасности, которые используют при создании и эксплуатации технических систем, могут быть условно разделены на три класса: средства предупреждения, средства контроля и средства защиты.

Средства предупреждения отказов

Средства предупреждения отказов техники одновременно являются и техническими средствами, позволяющими выбрать и детально разработать наилучшую конструкцию, оформить документацию, обеспечить полную экспериментальную обработку.

К числу технических средств, используемых для предупреждения отказов и отклонений конструктивного характера, относят:

- автоматизированные цифровые и аналого-цифровые комплексы моделирования, имеющие необходимое математическое обеспечение и позволяющие проектантам разрабатывать большое число альтернативных вариантов элементов системы и выбирать наиболее надежные и эффективные;

- средства автоматизированной разработки конструкторской и технологической документации, позволяющие исключить ошибки в документации и значительно ускорить её разработку;

- современное экспериментальное оборудование, позволяющее своевременно обрабатывать новые технические решения, обеспечить высокую надежность элементов;

- технические средства обучения и повышения квалификации проектантов, конструкторов и других сотрудников предприятий-разработчиков;

- автоматизированную систему информации по вопросам качества и надежности элементов.

К числу технических средств, предупреждающих отказы и отклонения производственного характера, относят:

- прогрессивное автоматизированное производственно-технологическое оборудование, средства контроля и управления технологическими процессами;

- технические средства входного неразрушающего контроля и диагностики, исключающие попадание в производство недостаточно качественных материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов;

- автоматизированные средства обучения рабочих и инженерно-технических работников предприятий-изготовителей;

- автоматизированную систему информации по качеству и надежности систем в производстве.

К числу технических средств предупреждения отказов в эксплуатации относят:

- технические средства для отработки эксплуатационной документации (стенды, макеты, имитаторы) и обучения эксплуатирующего персонала;

- автоматизированные средства контроля, диагностики и поиска неисправностей;

- технические средства для проведения предупредительных и регламентных работ.

Средства контроля

К числу технических средств, обеспечивающих контроль и выявление отказов конструктивного характера, относят:

- экспериментальную базу, достаточную для контроля правильности заложенных технических решений, проверки запасов работоспособности элементов во всех режимах функционирования, контроля надежности;

- технические средства контроля и корректировки конструкторской документации, качества труда исполнителей.

Технические средства контроля надежности в производстве технических систем предназначены для осуществления следующих функций:

- проведения эффективного входного, пооперационного и приёмочного контроля качества элементов;

- проверки режимов функционирования, запасов работоспособности, проведения контрольно-технологических испытаний;

- контроля качества сборки и совместного функционирования групп элементов;

- контроля качества технологической документации, стабильности технологических процессов, качества труда исполнителей.

Технические средства контроля надежности в эксплуатации:

- технические средства неразрушающего контроля и диагностики;
- автоматизированные средства регистрации и обработки информации о результатах функционирования элементов систем, об отказах и неисправностях;
- технические средства прогнозирования работоспособности элементов, контроля и поиска неисправностей;
- автоматизированные средства контроля качества работы операторов.

Средства защиты

К числу технических средств защиты, используемых для недопущения отказов или устранения последствий отказов, относят:

- технические средства локализации отказов, вводимые в состав системы;
- технические средства оперативного контроля и управления функционированием при возникновении опасных ситуаций;
- блокировки в ответственных технологических процессах, исключающие возможности разрушения элементов системы при нарушении технологического процесса.

В процессе эксплуатации для уменьшения ущерба от возможных отказов предусматривают следующие технические средства:

- пожаровзрывобезопасности и пожаротушения;
- автоблокировки, исключающие прохождение и выполнение неправильных команд;
- предупреждения ошибочных действий операторов.

При разработке новых систем необходимо с опережением создавать и применять на каждой стадии технические средства:

- предупреждения отказов и отклонений от намеченного хода технологического процесса;
- средства оперативного контроля и выявления причин;
- средства защиты от вредных последствий отказов и отклонений.

Таким образом, средства защиты – это совокупность организационных и технических средств, используемых в системах для поддержания заданного режима технологических процессов, предотвращения аварийных ситуаций и (или) повреждения элементов систем. Такое множество взаимосвязанных и взаимодействующих средств именуется **защитной автоматикой**.

Защитная автоматика применяется для определения состояния оборудования (например, «включено или выключено»), степени загрузки (например, дозаторов химического реактора), наличия материала, скорости его движения, температуры и давления потока и др. технологических параметров. По функциональному признаку в защитной автоматике выделяют автоматические контроль, измерение, сигнализацию, защиту и блокировку.

Автоматический контроль и измерения проводятся дискретно или непрерывно. На предприятиях в зависимости от способа передачи показаний различают контроль местный и централизованный (дистанционный).

При местном контроле показывающие приборы устанавливаются на объекте контроля, при централизованном – на диспетчерском пульте. При контроле предельных положений регистрируются только параметры, соответствующие этим положениям, при непрерывном контроле происходит непрерывное или повторяющееся через небольшие промежутки времени измерение параметров.

Сигнализация предназначена для передачи контрольных, управляющих (командных) и информационных сигналов по каналам и линиям связи, например, оператору или диспетчеру.

Различают сигнализацию **предупредительную** – для предупреждения обслуживающего персонала о пуске тех или иных механизмов, **распорядительную** – для пуска и отключения систем оператором, **исполнительную** – для контроля выполнения распоряжений, **аварийную** – для оповещения обслуживающего персонала о нарушении нормального хода процессов. Для сигнализации о состоянии распределенных объектов используют телекоммуникацию.

Блокировка – совокупность методов и средств, обеспечивающих фиксацию рабочих частей (элементов) системы или электрической цепи в определенном состоянии (положение), которое сохраняется независимо от того, устранено или нет блокирующие

воздействие, чем достигается как безопасность оборудования, так и безопасность обслуживания.

15.3.6. Организационно-управленческие мероприятия

Техническое обслуживание, ремонтные работы и инспектирование

Функционирование систем непосредственным образом зависит от технического обслуживания и ремонта этих систем. По этой причине очень важно разработать график технического обслуживания и контроля работы как технологических систем, так и систем безопасности, в который входит выполнение следующих задач:

а) проверка условий работы систем безопасности, как в испытательных помещениях, так и на рабочих местах;

б) проверка исправности оборудования в системах безопасности на рабочих местах, например, путем визуального осмотра или дистанционного контроля;

в) мониторинг питающих устройств в системах безопасности (при подаче электрического тока, пара, охладителя, сжатого воздуха и т.п.);

г) разработка графика технического обслуживания и соответствующей документации с указанием различных интервалов техобслуживания и типов производящихся работ.

Кроме того, в этих графиках могут указываться необходимые квалификации и уровень профессиональных навыков персонала для выполнения конкретного вида работ.

Ремонтные работы из-за их низкого качества могут быть одной из причин возникновения опасностей. Поэтому должны быть разработаны подробные инструкции по проведению ремонтов. В них должны входить квалификационные требования к обслуживающему персоналу, а также требования контроля этих работ. В связи с особой важностью этих требований администрация может разрабатывать собственные стандарты на ремонтные работы, иногда с более жесткими требованиями, чем в государственных стандартах.

Необходимо разработать план инспекций и испытаний промышленных систем, график проведения которых должен строго соблюдаться. Инспекции и испытание следует выполнять применительно к следующему оборудованию процесса:

- сосудам высокого давления и резервуарам транспортировки (если это транспорт предприятия) и хранения;
- системам трубопроводов, включая компоненты трубопроводов, такие как запорная арматура, фланцы и пр.;
- системам и устройствам сброса давления и регулирования вентиляции;
- системам аварийного отключения;
- системам управления, включая устройства слежения, датчики, аварийную сигнализацию и устройства блокировки;
- насосам;
- компрессорам и воздухоотборникам при них.

Инспекторской проверке должны быть подвергнуты протоколы (журналы), регистрирующие обучение и инструктаж персонала, эксплуатирующего оборудование, инструкции по технической эксплуатации и обслуживанию, ремонтным работам, действиям персонала в нестандартных ситуациях на предмет выявления соответствия и полноты указанных мероприятий целям безопасности и требованиям стандартов по обеспечению целостности оборудования процесса.

Для подтверждения того, что оборудование установлено правильно и в соответствии со спецификациями проекта и инструкциями завода-изготовителя, что системы подходят для процесса, должны быть выполнены соответствующие проверки и инспекции. Это положение касается также установления пригодности материалов, используемых для технического обслуживания, запасных частей и приспособлений, применяемых при ремонтных работах.

Инструкции инспекций и испытаний должны следовать общепринятой инженерной практике и проводиться с периодичностью, рекомендованной изготовителем, а при необходимости (устанавливается по предшествующему опыту эксплуатации) и чаще.

Руководство предприятия должно документировать каждую инспекцию или испытание, которое было выполнено на оборудовании технологических процессов. Документация должна содержать дату инспекции или испытания, фамилию лица, которое провело инспекцию или испытание, серийный номер или другой идентификатор оборудования, на котором инструкция или испытание было проведено, описание выполненной инспекции или испытания, ее (его) результаты.

Технический персонал предприятия должен устранить неисправности или перед дальнейшим использованием системы, или по

плану-графику, если немедленно были предприняты необходимые меры для обеспечения безопасности эксплуатации.

Управление изменениями в технологическом процессе

Перед тем как вносить какие-либо изменения в технологию процесса, в используемые системы, в другие объекты, которые влияют на технологический процесс, необходимо рассмотреть и оценить:

- техническую базу для предлагаемого изменения;
- влияние изменения на безопасность и здоровье работников предприятия, населения;
- экологическую безопасность;
- изменение эксплуатационных процедур;
- срок, необходимый для реализации изменений;
- требования для предлагаемого изменения.

Персонал, вовлеченный в эксплуатацию систем и техническое обслуживание, должен до внесения изменений и пуска технологического процесса быть проинформирован об изменениях, и пройти соответствующее обучение.

Если изменение затрагивает информацию и инструкции по безопасности процесса и эксплуатации систем, то они должны быть соответствующим образом откорректированы.

Обучение

Несмотря на то, что в обеспечении безопасности важное место занимает технические средства, без участия человека никакое производство вообще работать не будет. Поскольку на уровень безопасности люди могут оказывать как позитивное, так и негативное влияние, крайне необходимо снизить последнее и всячески поддержать первое. Обе цели могут быть достигнуты путем правильного подбора и первичного обучения персонала, в которое должна быть включена информация:

- об опасностях, связанных с производственными процессами и используемыми веществами, и уровнях риска;
- инструкциях, необходимых при работе;
- о возможных условиях работы, включая процедуры включения и выключения промышленной установки;

- рекомендуемом поведении людей при нарушении режимов работы системы, аварии или несчастных случаях;
- несчастных случаях и ситуациях, близких к аварийным, на других аналогичных производствах.

Повторное обучение должно проводиться, по крайней мере, каждые три года (или чаще, по мере необходимости) для каждого работника, включенного в эксплуатацию технических систем, для подтверждения того, что работник понимает и твердо придерживается действующих эксплуатационных инструкций. Руководитель должен определить во время консультаций с работниками, вовлеченными в эксплуатацию процесса, периодичность повторного обучения.

Руководителю необходимо удостовериться, что каждый работник, вовлеченный в процесс, получил и усвоил требуемое обучение. Результаты обучения и аттестации персонала должны быть оформлены соответствующим образом.

16. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ АВАРИЙ

Экономический ущерб от аварий на ОПО, как правило, включает:

- полные финансовые потери организации, эксплуатирующей ОПО, на котором произошла авария;
- расходы на ликвидацию аварии на ОПО;
- социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц);
- вред, нанесенный окружающей среде (далее ОС);
- косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

Ущерб от аварий на ОПО может быть выражен в общем виде формулой

$$P_a = P_{п.п.} + P_{л.а.} + P_{сэ} + P_{н.в.} + P_{экол} + P_{в.т.р} , \quad (79)$$

где P_a – полный экономический ущерб от аварии на ОПО, руб.; $P_{п.п.}$ – прямые потери организации, эксплуатирующей ОПО, руб.; $P_{л.а.}$ – затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии на ОПО,

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

Прямые потери, $P_{н.л.}$, от аварий на ОПО можно определить по формуле:

$$P_{п.п.} = P_{о.ф.} + P_{тм.ц.} + P_{им}, \quad (80)$$

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.

Составляющие прямых потерь от аварии на ОПО, входящие в формулу (80), рекомендуется определять следующим образом.

Потери предприятия от уничтожения (повреждения) аварией на ОПО его основных фондов – производственных и непроизводственных, $P_{о.ф.}$, можно определить как сумму потерь в результате уничтожения, $P_{о.ф.у.}$, и повреждения, $P_{о.ф.п.}$, основных фондов:

$$P_{о.ф.} = P_{о.ф.у.} + P_{о.ф.п.}, \quad (81)$$

При этом $P_{о.ф.у.}$ можно рассчитать по формуле

$$P_{о.ф.у.} = \sum_{i=1}^n (S_{oi} - (S_{mi} - S_{yi})), \quad (82)$$

где n – число видов уничтоженных основных фондов; S_{oi} – стоимость замещения или воспроизводства (а при затруднительности ее определения – остаточная стоимость) i -го вида уничтоженных основных фондов, руб.; S_{mi} – стоимость материальных ценностей i -го вида, годных для дальнейшего использования, руб.; S_{yi} – утилизационная стоимость i -го вида уничтоженных основных фондов, руб.

Потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) аварией на ОПО товарно–материальных ценностей, $P_{тм.ц.}$, можно

определить по сумме потерь каждого вид ценностей следующим образом:

$$П_{\text{м.ц.}} = \sum_{i=1}^n П_{\text{т}i} + \sum_{j=1}^m П_{\text{с}j}, \quad (83)$$

где n – число видов товара, которым причинен ущерб в результате аварии на ОПО; $П_{\text{т}i}$ – ущерб, причиненный i -му виду продукции, изготавливаемой предприятием $П_{\text{т}}$ (как незавершенной производством, так и готовой), руб.; m – число видов сырья, которым причинен ущерб в результате аварии на ОПО; $П_{\text{с}j}$ – ущерб, причиненный j -му виду продукции, приобретенной предприятием, а также сырью и полуфабрикатам, руб.

Затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии на ОПО, $П_{\text{л.а.}}$, можно определить по формуле

$$П_{\text{л.а.}} = П_{\text{л}} + П_{\text{р}}, \quad (84)$$

где $П_{\text{л}}$ – расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии на ОПО, руб.; $П_{\text{р}}$ – расходы на расследование аварии на ОПО, руб.

В расходы на локализацию (ликвидацию) аварии на ОПО, $П_{\text{л.а.}}$, рекомендуется включать:

- непредусмотренные выплаты заработной платы (премии) персоналу при локализации и ликвидации аварии на ОПО;
- стоимость электрической (и иной) энергии, израсходованной при локализации и ликвидации аварии на ОПО;
- стоимость материалов, израсходованных при локализации и ликвидации аварии на ОПО;
- стоимость услуг специализированных организаций по локализации и ликвидации аварии на ОПО.

В расходы на расследование аварии на ОПО, $П_{\text{р}}$, рекомендуется включать:

- оплату труда членов комиссии по расследованию аварии на ОПО (в том числе командировочные расходы);
- затраты на научно-исследовательские работы и мероприятия, связанные с рассмотрением технических причин аварии на ОПО;

- стоимость услуг экспертов, привлекаемых для расследования технических причин аварии, и оценку (в том числе экономическую) последствий аварии на ОПО.

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

$$P_{сэ} = P_{г.п.} + P_{г.т.л.} + P_{т.п.} + P_{т.т.л.} \cdot \quad (85)$$

При этом затраты, связанные с гибелью персонала, как правило, состоят из

$$P_{г.п.} = S_{пог} + S_{п.к.}, \quad (86)$$

где $S_{пог}$ – расходы по выплате пособий на погребение погибших, руб.; $S_{п.к.}$ – расходы на выплату пособий в случае смерти кормильца, руб.

Затраты, связанные с травмированием персонала, можно вычислить по формуле

$$P_{т.п.} = S_{в} + S_{и.п.} + S_{м}, \quad (87)$$

где $S_{в}$ – расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности, руб.; $S_{и.п.}$ – расходы на выплату пенсий лицам, ставшим инвалидами, руб.; $S_{м}$ – расходы, связанные с повреждением здоровья пострадавшего, на его медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, руб.

Кроме того, при определении социально-экономических потерь, $P_{сэ}$, можно учитывать также возмещение морального вреда как пострадавшим, так и их родственникам.

Ущерб от гибели, $P_{г.т.л.}$, и травмирования третьих лиц, $P_{т.т.л.}$, в результате аварии на ОПО определяется аналогично.

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

$$P_{н.в.} = P_{н.п.} + P_{з.п.} + P_{ш} + P_{н.п.т.л.} \cdot \quad (88)$$

Величину $\Pi_{з.п.}$ рекомендуется определять по формуле

$$\Pi_{з.п.} = (V_{з.п.} \cdot A + V_{уп}) \cdot T_{пр}, \quad (89)$$

где $V_{з.п.}$ – заработная плата сотрудников предприятия, руб./день; A – доля сотрудников, не использованных на работе (отношение числа сотрудников, не использованных на работе по причине простоя, к общей численности сотрудников); $V_{уп}$ – условно–постоянные расходы, руб./день; $T_{пр}$ – продолжительность простоя объекта, дни.

Недополученную прибыль в результате простоя предприятия, $\Pi_{н.п.}$, в результате аварии рекомендуется определять по формуле

$$\Pi_{н.п.} = \sum_{i=0}^n \Delta Q_i \cdot (S_i - B_i), \quad (90)$$

где n – количество видов недопроизведенного продукта (услуги); ΔQ_i – объем i -го вида продукции (услуги), недопроизведенный из-за аварии на ОПО

$$\Delta Q_i = (Q_i^0 - Q_i^1) \cdot T_{при}, \quad (91)$$

где Q_i^0 – средний дневной (месячный, квартальный, годовой) объем выпуска i -го вида продукта (услуги) до аварии на ОПО; Q_i^1 – средний дневной (месячный, квартальный, годовой) объем выпуска i -го вида продукта (услуги) после аварии на ОПО; S_i – средняя оптовая стоимость (отпускная цена) единицы i -го недопроизведенного продукта (услуги) на дату аварии, руб.; B_i – средняя себестоимость единицы i -го недопроизведенного продукта (услуги) на дату аварии на ОПО; $T_{при}$ – время, необходимое для ликвидации повреждений и разрушений, восстановления объемов выпуска продукции (услуг) на доаварийном уровне.

Убытки, вызванные уплатой различных штрафов, пени и пр., $\Pi_{ш.}$, можно определить как сумму различных штрафов, пени и прочих санкций, наложенных на предприятии вследствие срыва сроков поставки, контрактов или других обязательств, не выполненных из-за аварии на ОПО.

Косвенный ущерб для третьих лиц, как правило, рассчитывается аналогично убыткам предприятия по данному показателю.

Экологический ущерб, $P_{\text{экол}}$, рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты ОС:

$$P_{\text{экол}} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_в + \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_б + \mathcal{E}_о, \quad (92)$$

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.

Ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, \mathcal{E}_a , как правило, определяется, исходя из массы загрязняющих веществ, рассеивающихся в атмосфере.

Масса загрязняющих веществ находится расчетным или экспертным путем по действующим методикам.

Ущерб от загрязнения водных ресурсов, $\mathcal{E}_в$, рекомендуется определять суммированием ущерба от изменения качества воды и размера потерь, связанных со снижением его биопродуктивности.

Ущерб от изменения качества воды оценивается на основании утвержденных нормативных документов.

Размер потерь, связанных со снижением биопродуктивности водного объекта, можно определять на основе непосредственного обследования биологических ресурсов, экспертной оценки стоимости снижения биологической продуктивности с учетом нормативно-методических документов.

Ущерб от загрязнения почвы, $\mathcal{E}_п$, рекомендуется определять на основе утвержденных указаний в соответствии с порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами и экспертной оценки стоимости потерь, связанных с деградацией земель в результате вредного воздействия.

Размер взыскания за ущерб, связанный с уничтожением биологических ресурсов, $\mathcal{E}_б$, как правило, определяется соответственно инструкциям, методикам и таксам.

Величину ущерба от засорения территории обломками, $\mathcal{E}_о$, рекомендуется определять в размере платежа за размещение отходов на не отведенной для этой цели территории в соответствии с

инструктивно–методическими указаниями по взиманию платы за загрязнение ОС.

Потери от выбытия трудовых ресурсов, $P_{в.т.р.}$, из производственной деятельности в результате гибели одного человека рекомендуется определять по формуле

$$P_{в.т.р.} = H_t \cdot T_{р.д.}, \quad (93)$$

где H_t – доля прибыли, недоданная одним работающим, руб./день;
 $T_{р.д.}$ – потеря рабочих дней в результате гибели одного работающего, принимаемая равной 6000 дней.

Показатель H_t рекомендуется определять, исходя из удельных показателей национального (регионального) дохода по данной отрасли промышленности с учетом средней заработной платы на предприятии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алымов, В.Т. Техногенный риск. Анализ и оценка: учебное пособие для вузов/ В.Т. Алымов – М.: Академкнига, 2004. – 118 с.
2. Анализ риска объектов химического профиля на основе информации о техническом состоянии оборудования/ А.Г. Хлуденев, Н.М. Рябчиков, С.А. Хлуденев и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – №3. – С.28-33.
3. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности/ М.И. Лебедева, А.В. Богданов, Ю.Ю. Колесников//Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» – 2013 – Выпуск № 4 (50) (<http://ipb.mos.ru/ttb>)
4. Баратов, А.Н. Пожарная безопасность: учебное пособие/ А.Н. Баратов, В.А. Пчелинцев – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 144 с.
5. Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение/М.В. Бесчастнов – М.: Химия, 1991. – 432 с.
6. Бондарь, В.А. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений/ В.А. Бондарь, Ю.П. Попов// Безопасность труда в промышленности. – 1997. – №10. – С.39-42.
7. Галеев, А.Д. Образование и распространение облаков тяжелых газов при авариях на объектах химической и нефтехимической промышленности: дис. ... канд. техн. наук/ А.Д. Галеев. – Казань, 2006. – 227 с.
8. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.
9. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. Глебова, Е.В. Снижение риска аварийности и травматизма в нефтегазовой промышленности на основе модели профессиональной пригодности операторов: дис. ... докт. техн. наук/Е.В. Глебова. – М.: РГУНГ им. И.М.Губкина, 2009. – 330 с.
11. Егоров, А.Ф. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств/ А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая – М.: КолосС, 2010. - 526 с.

12. Старовойтова Е.В. Прогнозирование последствий аварийных залповых выбросов сжиженных газов: дис. ... канд. техн. наук/ Е.В. Старовойтова – Казань, 2012. – 195 с.

13. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

14. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

15. Иванов, А.В. Разработка методических основ оценки последствий химических промышленных аварий (на примере металлургического комбината): дис. ... канд. техн. наук/А.В. Иванов– М.: МИСиС, 1999. – 283с.

16. Лисанов, М.В. О новом порядке оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов/ М.В. Лисанов, В.В. Симакин// Безопасность труда в промышленности. – 2006. – №3. – С. 37-39.

17. Лисанов, М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска/ М.В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №5. – С. 11-14.

18. Мартынюк, В.Ф. Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие для вузов/ В.Ф. Мартынюк, Б.Е. Прусенко – М.: Нефть и газ, 2003. – 336 с.

19. Маршалл, В. Основные опасности химических производств/В. Маршалл – М.: Мир, 1989. – 671 с.

20. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеяния тяжелого газа / Шаталов А.А., Лисанов М.В., Печеркин А.С. и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2004. - №9. - С. 46-52.

21. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. Приказом МЧС РФ от 10.07.2009 №404.

22. Методические рекомендации по классификации аварий и инцидентов на опасных производственных объектах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности: РД 09-398-01: утв. Приказом Госгортехнадзора России от 31.01.01 №7.

23. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах: РД 03-496-02: утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 № 63.

24. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие/ В.А.Акимов [и др.]; общ. ред. М.И. Фалеева.. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.

25. Основные показатели риска в терминах теории вероятностей/ Гражданкин А.И., Дегтярев Д.В., Лисанов М.В. и др.// Безопасность труда в промышленности. – 2002. – №7. – С. 35-39.

26. Оценка экономического ущерба от аварий на опасном производственном объекте: метод. указания к практическим занятиям по курсу «Управление техносферной безопасностью»/сост. Безбородова О.Е.; Пензенский государственный университет. – Пенза, 2014. – 24 с.

27. Положение о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах: утв. Постановлением Правительства РФ от 26.08.2013 №730.

28. Положение о федеральном государственном надзоре в области промышленной безопасности: утв. Постановлением Правительства РФ от 15.11.2012 №1170.

29. Рекомендации по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: утв. Приказом Ростехнадзора от 26.12.2012 №781.

30. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: утв. Приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 №144.

31. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»: утв. Приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 №158.

32. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов»: утв. Приказом Ростехнадзора от 17.09.2015 №365.

33. Селезнев, В.Е. Математический анализ газовой опасности при выбросах природного газа/ В.Е. Селезнев, Г.С. Клишин, В.В. Алешин // Инженерная экология. – 2000. – №5 – С. 29-36.

34. Требования по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения: утв. Приказом МЧС России от 28.02.2003 №105.

35. Типовой паспорт безопасности опасного объекта: утв. Приказом МЧС РФ от 04.11.2004 №506.

36. Устав аварийно-спасательных формирований по организации и ведению газоспасательных работ: утв. Министерством промышленности, науки и технологий Российской Федерации 05.06.2003.

37. Федеральный закон от 21.07.1997 №116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

38. Федеральный закон от 22.08.1995 №151-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей".

39. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

40. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»: утв. Приказом Ростехнадзора от 11.03.2013 г. № 96.

41. Экономические механизмы управления рисками чрезвычайных ситуаций/МЧС России/ В.А. Акимов [и др.]. – М.: Куна, 2004. – 312 с.

42. Якуш, С.Е. Гидродинамика и горение газовых и двухфазных выбросов в открытой атмосфере: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук/ С.Е. Якуш – Москва, 2000. – 336 с.

43. Britter, R. E. Atmospheric dispersion of dense gases/ R. E. Britter // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1989. – V. 21. – P. 317-344.

44. Sharan, M. Comparison of sigma schemes for estimation of air pollutant dispersion in low winds/ M. Sharan, A.K. Yadav, M.P. Singh // Atmospheric environment. – 1995. – v. 29. – №16. – P. 2051-2059.

Определение ожидаемого режима сгорания облака

1. Ожидаемый режим сгорания облака зависит от типа горючего вещества и степени загроможденности окружающего пространства.

Классификация горючих веществ по степени чувствительности

2. 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 – среднечувствительные вещества (размер детонационной ячейки лежит в пределах от 10 до 40 см);
- класс 4 – слабочувствительные вещества (размер детонационной ячейки больше 40 см).

Классификация наиболее распространенных в промышленном производстве горючих веществ приведена в табл. П 1.1.

В случае, если вещество не внесено в классификацию, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества его следует отнести к классу 1, т.е. рассматривать наиболее опасный случай.

Таблица П 1.1

Классификация горючих веществ

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	
	диметиловый	Октан	
	дивиниловый	Пиридин	
	метилбутиловый	Сероводород	
	Широкая фракция	Спирты:	
	легких	метиловый	
	углеводородов	этиловый	
		пропиловый	
		амиловый	
		изобутиловый	
		изопропиловый	
		Циклогексан	
		Этилформиат	
		Этилхлорид	

3. При оценке масштабов поражения волнами давления должно учитываться различие химических соединений по теплоте сгорания, используемой для расчета полного запаса энергосодержания. Для типичных углеводородов принимается в расчет значение удельной теплоты сгорания $E_{уд} = 44$ МДж/кг. Для иных горючих веществ в расчетах используется удельное энергосодержание $E_{уд} = \beta \cdot E_{уд0}$. Здесь β - корректировочный параметр. Для условно выделенных классов горючих веществ величины параметра β представлены в табл. П 1.2.

Таблица П 1.2

Значения корректировочного параметра β

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	Ацетальальдегид	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	
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

4. 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

Для оценки воздействия сгорания облака возможные режимы сгорания разделяются на шесть классов по диапазонам скоростей их распространения следующим образом:

- класс 1 – 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

$$u = k_1 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П } 1.1)$$

где k_1 – константа, равная 43; M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг;

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

$$u = k_2 \cdot M^{1/6}, \quad (\text{П } 1.2)$$

где k_2 – константа, равная 26; M – масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг.

Ожидаемый режим сгорания облака определяется с помощью табл. П 1.3, в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства.

Таблица П 1.3

Ожидаемый режим сгорания облака в зависимости от класса горючего вещества и класса загроможденности окружающего пространства

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

При определении максимальной скорости фронта пламени для режимов сгорания 2-4 классов дополнительно рассчитывается видимая скорость фронта пламени по соотношению (П 1.1).

В том случае, если полученная величина больше максимальной скорости, соответствующей данному классу, она принимается за верхнюю границу диапазона ожидаемых скоростей сгорания облака.

**Таблица значений условной вероятности поражения $P(L)$
в зависимости от пробит-функции Pr**

$P(L), \%$	Pr									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	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
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
-	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

**Примеры расчета зон действия поражающих факторов
и количественных показателей риска аварий**

Пример №1. Провести оценку показателей риска (потенциальный, коллективный и средний индивидуальный риск) для объекта хранения сжиженного пропана.

Исходные данные

Резервуары объемом 600 м^3 расположены на территории резервуарного парка склада сжиженных газов. Схема территории склада и прилегающей к нему местности показана на рис. П 3.1.

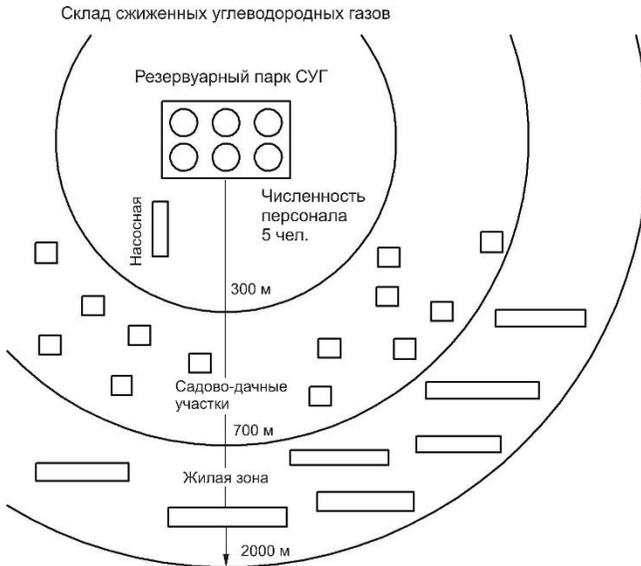


Рисунок П 3.1. Схема территории склада и прилегающей к нему местности

Площадь, занимаемая резервуарным парком и ограниченная обвалованием, равна 2000 м^2 . Количество резервуаров – 6. Степень заполнения резервуара 80 % (по объему). Температура – 38°C .

Численность персонала в наибольшую работающую смену – 5 чел. С одной стороны склада от его внешней границы расположена территория садово-дачных участков с плотностью заселения 200 чел/км². Далее находится жилая зона с плотностью заселения 2000 чел/км². Для персонала долю времени, при которой реципиент подвергается опасности, принять равной 0,22, для дачных участков – 0,17 (2 месяца в году), для населения жилой зоны – 1. Вероятность разгерметизации резервуара составляет $P(A)=1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹. Произвести расчет потенциального, коллективного и среднего индивидуального риска

Решение

Физические свойства веществ и материалов представлены в табл. П 3.1.

Таблица П 3.1

Физические свойства веществ и материалов

Параметр	Значение
Плотность сжиженного газа $\rho_{ж}$, кг/м ³	480
Удельная теплоемкость жидкости C_p , Дж/(кг·К)	2800
Теплота испарения жидкости $\Delta H_{кип}$, Дж/кг	434200
Температура кипения жидкости при атмосферном давлении, °С	-42,05
Молярная масса M , кг/кмоль	44
Коэффициент теплопроводности материала подстилающей поверхности $\lambda_{п}$, Вт/(м·К)	1,3
Плотность материала подстилающей поверхности $\rho_{п}$, кг/м ³	2300
Удельная теплоемкость материала подстилающей поверхности $C_{pп}$, Дж/(кг·К)	1000
Удельная теплота сгорания горючего газа $E_{уд}$, кДж/кг	46454
Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$, % об.	2,3

Для расчета показателей риска будем учитывать только наиболее неблагоприятные аварийные ситуации (взрыв, огненный шар и сгорание облака при полной разгерметизации резервуара), т.е. не учитываем вклад сценариев аварий, связанных с частичной разгерметизацией оборудования.

Используя дерево событий, представленное на рис. 11, и учитывая количество резервуаров, определим вероятности сценариев аварий.

Вероятность сгорания паровоздушнoй смеси в открытом пространстве с образованием волны избыточного давления:

$$P_{\text{в}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,115 = 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность образования огненного шара:

$$P_{\text{о.ш.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара-вспышки

$$P_{\text{п.в.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,077 = 4,62 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии

Масса жидкой фазы, поступившей в окружающее пространство из аварийного резервуара, определяется по формуле (21) и равна

$$m_{\text{жс}} = 0,8 \cdot 600 \cdot 480 = 230400 \text{ кг.}$$

Количество жидкости, мгновенно вскипающей при разгерметизации оборудования, определяется по формуле (22) и равно

$$G_{\text{мгн}} = 230400 \cdot \left(1 - \exp\left(- \frac{2800 \cdot (311 - 231,1)}{434200} \right) \right) = 92770 \text{ кг.}$$

Так как хранение сжиженного резервуара осуществляется под собственным давлением насыщенных паров, принимаем давление в аппарате P , равное давлению насыщенных паров $P_{\text{н}}$.

Давление насыщенных паров сжиженного газа при температуре окружающей среды определяется по формуле (27) и равно

$$P_{\text{н}} = 101325 \cdot \exp\left(\frac{434200 \cdot 44}{8310} \cdot \left(\frac{1}{(-42,05 + 273,15)} - \frac{1}{(38 + 273,15)} \right) \right) = 1309896 \text{ Па.}$$

Количество пара в свободном объеме резервуара определяется по формуле (23) и равно

$$G_{\text{св}} = (1 - 0,8) \cdot \frac{0,044}{8,31} \cdot \frac{1309896 \cdot 600}{273,15 + 38} = 2675 \text{ кг.}$$

Площадь пролива жидкости, оставшейся после мгновенного вскипания, на неограниченной поверхности определяется по формуле (28) и равна

$$F_{\text{ж}} = 150 \cdot (230400 - 92700) / 480 = 43031 \text{ м}^2.$$

Так как площадь пролива, определенная для случая розлива на неограниченной поверхности, $F_{\text{ж}}=43031 \text{ м}^2$ больше площади, ограниченной обвалованием $F_{\text{ж}}=2000 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_{\text{ж}}=2000 \text{ м}^2$.

Время парообразования из пролива (время контакта жидкости с поверхностью пролива) принимается равным времени полного испарения СУГ, но не более 3600 с.

Масса паров, образующихся при кипении пролива, определяется по формуле (24) и равна

$$G'' = 2 \frac{38 - (-42,05)}{434200} \cdot \frac{\sqrt{1,3 \cdot 2300 \cdot 1000}}{\sqrt{3,14}} \cdot 2000 \cdot \sqrt{3600} = 43177 \text{ кг.}$$

Давление насыщенных паров СУГ при расчете интенсивности испарения из пролива по формуле (25) принято равным атмосферному давлению, так как температура жидкости в проливе не превышает температуру кипения при атмосферном давлении.

Интенсивность испарения из пролива, обусловленного диффузионными процессами, определяется по формуле (25) и равна

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{44} \cdot 101,325 = 0,000672 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Общее количество испарившейся жидкости определяется по формуле (26) и равно

$$G' = 0,000672 \cdot 2000 \cdot 3600 = 4838 \text{ кг.}$$

Суммарное количество пара, участвующего в образовании паровоздушного облака, равно

$$m = 92770 + 2675 + 43177 + 4838 = 143460 \text{ кг.}$$

Расчет параметров поражающих факторов

Вычисляем интенсивность теплового излучения огненного шара $q_{0.ш.}$, а также избыточное давление ΔP и импульс i при взрыве паровоздушной смеси на различных расстояниях от резервуара по формулам, приведенным в разделе 11.5, и рекомендациям Приложения 1. Для полученных значений поражающих факторов по формулам (8) и (9) рассчитываем пробит-функции. С помощью таблицы Приложения 2 определяем условные вероятности поражения человека ударной волной $P_{Лв}$ и тепловым излучением от огненного шара $P_{Lo.ш.}$.

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0. Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке определяем по формуле (40)

При расчете эффективного диаметра D_s и времени существования огненного шара t_s масса продукта, поступившего в окружающее пространство, принято равным $m_{ж}=230400$ кг.

При расчете интенсивности теплового излучения от пожара пролива значение площади пролива принято равным $F_{ж}=2000$ м².

Эффективный энергозапас горючей паровоздушной смеси определен с учетом коэффициента участия горючего вещества во взрыве Z и с учетом расположения облака на поверхности земли и равен

$$E = 143460 \cdot 46,454 \cdot 0,1 \cdot 2 = 1332858 \text{ МДж.}$$

При расчете параметров взрыва скорость фронта пламени определена исходя из класса горючего вещества и класса загроможденности пространства (см. Приложение 1) и принята равной $V_f=300$ м/с.

При расчете параметров «пожара-вспышки» радиус зоны, ограниченной НКПР, $R_{НКПР}$ определяется по формуле (41) и равен

$$R_{НКПР} = 7,8 \cdot \left(\frac{143460}{1,72 \cdot 2,3} \right)^{0,33} = 249 \text{ м.}$$

Результаты расчетов параметров поражающих факторов представлены в табл. П 3.2.

Расчет показателей риска

Потенциальный риск равен

$$RI = P_{\text{в}} \cdot P_{\text{Лв}} + P_{\text{о.ш.}} \cdot P_{\text{Ло.ш.}} + P_{\text{п.в.}} \cdot P_{\text{Лп.в.}},$$

где $P_{\text{Лв}}$, $P_{\text{Ло.ш.}}$, $P_{\text{Лп.в.}}$ – условная вероятность гибели человека в результате воздействия ударной волны при взрыве, теплового излучения от огненного шара и воздействия высокотемпературными продуктами сгорания при пожаре-вспышке соответственно. Средний индивидуальный риск:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{x,y} RI(x, y) \cdot N(x, y) \cdot f_k}{\sum_{x,y} N(x, y)}.$$

Коллективный риск:

$$RN = \sum_{x,y} RI(x, y) \cdot N(x, y).$$

Для расчета проведем разделение территории на три зоны:

- зона А – территория склада (количество человек, постоянно пребывающих в зоне А, - 5 человек);
- зона Б – территория, занимаемая садово-дачными участками (количество человек, пребывающих в зоне Б, - $n^B = \rho^B \cdot S$, где (ρ^B – плотность заселения, S – площадь, занимаемая садово-дачными участками);
- зона В – территория, занимаемая жилой зоной (количество человек, постоянно пребывающих в зоне В, - $n^B = \rho^B \cdot S$ (ρ^B – плотность заселения, S – площадь жилой зоны).

Для большей точности расчета разбиваем территорию зон Б, В на подзоны (с II по XIII), следующие одна за другой через каждые 100 м, и определяем число людей n^B , n^B , постоянно пребывающих в этих подзонах.

Результаты расчета показателей риска представлены в табл. П 3.3.

Таблица П 3.2
Результаты расчетов параметров поражающих факторов (пример № 1)

Расстояние r , м	Огненный шар			Взрыв					Пожар-вспышка $P_{Л.в.} \cdot 10^2$
	$q_{0.ш.}$, кВт/м ²	Pr	$P_{Л.ш.} \cdot 10^2$	DP , кПа	i , Па·с	Pr	$P_{Л.в} \cdot 10^2$		
50	75,53	9,77	100,0	83,2	7860,9	8,40	100	100	
100	70,93	9,55	100,0	79,7	6485,1	8,31	100	100	
200	56,75	8,79	100,0	53,1	3179,5	7,42	99,2	100	
300	42,05	7,77	99,7	38,3	2057,6	6,71	95,6	100	
400	30,33	6,66	95,1	29,8	1513,2	6,16	87,6	0	
500	21,89	5,54	70,7	24,4	1194,4	5,73	76,5	0	
600	15,99	4,47	29,6	20,6	985,8	5,35	63,8	0	
700	11,88	3,46	6,1	17,8	838,9	5,03	51,3	0	
800	8,98	2,50	0	15,7	729,9	4,76	40,6	0	
900	6,89	1,60	0	14,1	645,9	4,52	31,9	0	
1000	5,37	0,74	0	12,7	579,1	4,30	24,2	0	
1200	3,38	-0,83	0	10,7	479,9	3,92	14,1	0	
1400	2,22	-2,27	0	9,2	409,6	3,59	8,0	0	
1600	1,50	-3,60	0	8,1	357,3	3,31	4,6	0	
1800	1,05	-4,84	0	7,2	316,8	3,06	2,6	0	
2000	0,74	-6,00	0	6,5	284,6	2,83	1,6	0	

Таблица П 3.3
Результаты расчетов показателей риска (пример № 1)

Зона	Под зона	Расстояние, м	Потенциальный риск			Число человек в зоне	Средний индивидуальный риск, 1/год	Коллективный риск, чел/год
			$P_{\text{ош.}} \cdot P_{\text{Лощ}} \cdot 10^6$, 1/год	$P_{\text{в.}} \cdot P_{\text{Лв.}} \cdot 10^6$, 1/год	$P_{\text{Пв.}} \cdot P_{\text{ЛПв.}} \cdot 10^6$, 1/год			
А	I	50	1,200	0,690	0,462	5	$5,16 \cdot 10^{-7}$	
		100	1,200	0,690	0,462			
		200	1,200	0,684	0,462			
		300	1,196	0,660	0,462			
Б	II III IV V	400	1,141	0,604	0	44	$2,05 \cdot 10^{-7}$	
		500	0,848	0,528	0	57		
		600	0,355	0,440	0	69		
		700	0,073	0,354	0	82		
		800	0	0,280	0	942		
В	VI VII VIII IX X XI XII XIII	900	0	0,220	0	1068	$2,1 \cdot 10^{-3}$	
		1000	0	0,167	0	1193		
		1200	0	0,097	0	2763		
		1400	0	0,055	0	3266		
		1600	0	0,032	0	3768		
		1800	0	0,018	0	4270		
		2000	0	0,011	0	4773		

*Примечание: средние по подзонам значения потенциального риска.

Пример №2. Провести оценку показателей риска (потенциальный, коллективный и средний индивидуальный риск) для объекта хранения сжиженного нормального бутана.

Исходные данные

Исходные данные принять из примера №1.

Решение

Физические свойства веществ и материалов представлены в табл. П 3.4. Значения физических свойств материала подстилающего слоя (λ_n , ρ_n , C_{pn}) принять из примера №1.

Таблица П 3.4

Физические свойства веществ и материалов

Параметр	Значение
Плотность сжиженного газа $\rho_{ж}$, кг/м ³	560
Удельная теплоемкость жидкости C_p , Дж/(кг·К)	2500
Теплота испарения жидкости $\Delta H_{кип}$, Дж/кг	385000
Температура кипения жидкости при атмосферном давлении, °С	-0,5
Молярная масса M , кг/кмоль	58
Удельная теплота сгорания горючего газа $E_{уд}$, кДж/кг	45810
Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$, % об.	1,8

Для расчета показателей риска будем учитывать только наиболее неблагоприятные аварийные ситуации (взрыв, огненный шар и сгорание облака при полной разгерметизации резервуара), т.е. не учитываем вклад сценариев аварий, связанных с частичной разгерметизацией оборудования.

Используя дерево событий, представленное на рис. 11, и учитывая количество резервуаров, определим вероятности сценариев аварий.

Вероятность сгорания паровоздушной смеси в открытом пространстве с образованием волны избыточного давления:

$$P_B = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1152 = 6,912 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность образования огненного шара:

$$P_{\text{о.ш.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара-вспышки:

$$P_{\text{п.в.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0768 = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$$

Расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии

Масса жидкой фазы, поступившей в окружающее пространство из аварийного резервуара, равна

$$m_{\text{жс}} = 0,8 \cdot 600 \cdot 560 = 268800 \text{ кг.}$$

Количество жидкости, мгновенно вскипающей при разгерметизации оборудования, равно

$$G_{\text{мгн}} = 268800 \cdot \left(1 - \exp\left(- \frac{2500 \cdot (311 - 272,65)}{385000} \right) \right) = 59254 \text{ кг.}$$

Так как хранение сжиженного резервуара осуществляется под собственным давлением насыщенных паров, принимаем давление в аппарате P , равное давлению насыщенных паров $P_{\text{н}}$.

Давление насыщенных паров сжиженного газа при температуре окружающей среды равно

$$P_{\text{н}} = 101325 \cdot \exp\left(\frac{385000 \cdot 58}{8310} \cdot \left(\frac{1}{(-0,5 + 273,15)} - \frac{1}{(38 + 273,15)} \right) \right) = 343027 \text{ Па.}$$

Количество пара в свободном объеме резервуара равно

$$G_{\text{св}} = (1 - 0,8) \cdot \frac{0,058}{8,31} \cdot \frac{343027 \cdot 600}{273,15 + 38} = 923 \text{ кг.}$$

Площадь пролива жидкости, оставшейся после мгновенного вскипания, на неограниченной поверхности равна

$$F_{\text{ж}} = 150 \cdot (268800 - 59254) / 560 = 56128 \text{ м}^2.$$

Так как площадь пролива, определенная для случая разлива на неограниченной поверхности, $F_{ж}=56128 \text{ м}^2$ больше площади, ограниченной обвалованием $F_{ж}=2000 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_{ж}=2000 \text{ м}^2$.

Время парообразования из пролива (время контакта жидкости с поверхностью пролива) принимается равным времени полного испарения СУГ, но не более 3600 с.

Масса паров, образующихся при кипении пролива, равна

$$G'' = 2 \frac{38 - (-0,5)}{385000} \cdot \frac{\sqrt{1,3 \cdot 2300 \cdot 1000}}{\sqrt{3,14}} \cdot 2000 \cdot \sqrt{3600} = 23420 \text{ кг.}$$

Давление насыщенных паров СУГ при расчете интенсивности испарения из пролива по формуле (25) принято равным атмосферному давлению, так как температура жидкости в проливе не превышает температуру кипения при атмосферном давлении.

Интенсивность испарения из пролива, обусловленного диффузионными процессами, равна

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58} \cdot 101,325 = 0,000771 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с}).$$

Общее количество испарившейся жидкости, кг:

$$G' = 0,000771 \cdot 2000 \cdot 3600 = 5551 \text{ кг.}$$

Суммарное количество пара, участвующего в образовании паровоздушного облака, равно

$$m = 59254 + 923 + 23420 + 5551 = 89148 \text{ кг.}$$

Результаты расчетов

Расчет параметров поражающих факторов и показателей риска осуществляется аналогично примеру №1.

Результаты расчетов параметров поражающих факторов представлены в табл. П 3.5. Результаты расчета показателей риска представлены в табл. П 3.6.

Таблица П 3.5
Результаты расчетов параметров поражающих факторов (пример № 2)

Расстояние <i>r</i> , м	Огненный шар			Взрыв					Пожар- вспышка $P_{Л.в.} \cdot 10^2$
	$q_{0,ш.}$, кВт/м ²	Pr	$P_{Л.ш.} \cdot 10^2$	DP, кПа	<i>i</i> , Па·с	Pr	$P_{Л.в.} \cdot 10^2$		
50	75,19	9,86	100,0	83,2	6677,0	8,40	100	100	
100	70,99	9,66	100,0	74,5	4700,5	8,16	100	100	
200	57,78	8,96	100,0	46,7	2266,8	7,14	98,3	100	
300	43,62	8,00	99,9	33,3	1467,6	6,41	91,9	100	
400	31,95	6,94	97,3	25,8	1080,9	5,85	80,2	0	
500	23,33	5,86	80,6	21,0	854,3	5,40	65,4	0	
600	17,20	4,82	43,1	17,7	705,8	5,02	50,8	0	
700	12,86	3,83	12,1	15,3	601,1	4,71	38,5	0	
800	9,76	2,89	1,8	13,5	523,3	4,43	28,4	0	
900	7,52	2,00	0	12,0	463,4	4,18	20,5	0	
1000	5,88	1,16	0	10,9	415,7	3,97	15,1	0	
1200	3,72	-0,41	0	9,1	344,7	3,57	7,7	0	
1400	2,44	-1,84	0	7,8	294,4	3,23	3,9	0	
1600	1,66	-3,16	0	6,9	256,9	2,97	2,1	0	
1800	1,16	-4,39	0	6,1	227,9	2,70	1,1	0	
2000	0,82	-5,55	0	5,5	204,7	2,47	0	0	

Таблица П 3.6
Результаты расчетов показателей риска (пример № 2)

Зона	Под зона	Расстояние, м	Потенциальный риск				Средний индивидуальный риск, 1/год	Коллективный риск, чел/год	
			$P_{\text{ош.}} \cdot P_{\text{Л.ош.}} \cdot 10^6$ 1/год	$P_{\text{в.}} \cdot P_{\text{Л.в.}} \cdot 10^6$ 1/год	$P_{\text{п.в.}} \cdot P_{\text{Л.п.в.}} \cdot 10^6$ 1/год	$R \cdot 10^6$ 1/год			
А	I	50	1,200	0,690	0,462	2,351	5	$5,15 \cdot 10^{-7}$	
		100	1,200	0,690	0,462	2,351			
		200	1,200	0,678	0,462	2,349			
Б	II	300	1,198	0,634	0,462	2,334	44	$2,09 \cdot 10^{-7}$	
		400	1,168	0,553	0	2,027			
		500	0,967	0,451	0	1,369			
		600	0,517	0,351	0	0,739			
		700	0,146	0,266	0	0,414			
В	VI	800	0,021	0,196	0	0,318	942	$1,45 \cdot 10^{-3}$	
		900	0	0,141	0	0,251			
		1000	0	0,104	0	0,194			
		1200	0	0,053	0	0,132			
		1400	0	0,027	0	0,076			
		1600	0	0,014	0	0,044			
		1800	0	0,008	0	0,025			
		2000	0	0,000	0	0,015			
									1068
									1193
					2763				
					3266				
					3768				
					4270				
					4773				

Пример №3. Провести оценку показателей риска (потенциальный, коллективный и средний индивидуальный риск) для объекта хранения бензина.

Исходные данные

Резервуары объемом 2000 м³ расположены на территории резервуарного парка склада бензина. Площадь, занимаемая резервуарным парком и ограниченная обвалованием, равна 3000 м². Вероятность разгерметизации резервуара составляет $P(A)=1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. Остальные исходные данные принять из примера №1.

Решение

Физические свойства веществ и материалов представлены в табл. П 3.7.

Для расчета показателей риска будем учитывать только наиболее неблагоприятные аварийные ситуации (взрыв, пожар-вспышка и пожар пролива при полной разгерметизации резервуара), т.е. не учитываем вклад сценариев аварий, связанных с частичной разгерметизацией оборудования.

Таблица П 3.7

Физические свойства веществ и материалов

Параметр	Значение
Температура кипения (пределы выкипания) бензина, °С	35÷215
Удельная теплота сгорания паров бензина $E_{уд}$, кДж/кг	43641
Нижний концентрационный предел распространения пламени паров бензина $C_{НКПР}$, % об.	1,0

Используя дерево событий (рис. 13) и учитывая количество резервуаров, определим вероятности сценариев аварий.

Вероятность сгорания паровоздушной смеси в открытом пространстве с образованием волны избыточного давления:

$$P_B = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,115 = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара-вспышки:

$$P_{п.в.} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,077 = 4,62 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара пролива:

$$P_{\text{пл.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии

Бензин при температуре окружающей среды является стабильной жидкостью, поэтому при расчете количества вещества, участвующего в образовании взрывоопасной паровоздушной смеси, принимали, что $G_{\text{мгн}}=0$ и $G''=0$.

Площадь пролива жидкости на неограниченной поверхности (материал подстилающей поверхности – грунт) при полной разгерметизации резервуара будет равна

$$F_{\text{ж}} = 20 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 32000 \text{ м}^2.$$

Так как площадь пролива, определенная для случая разлива на неограниченной поверхности, $F_{\text{ж}}=32000 \text{ м}^2$, больше площади, ограниченной обвалованием $F_{\text{ж}}=3000 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_{\text{ж}}=3000 \text{ м}^2$.

При расчете массы газа в свободном объеме резервуара, давление P в формуле (23) принимаем равным давлению насыщенных паров бензина $P_{\text{н}}$. По ГОСТ Р 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин» давление насыщенных паров бензина летнего класса не должно быть более 70 кПа, поэтому принимаем $P_{\text{н}}=70 \text{ кПа}$. Молекулярную массу паров бензина в свободном объеме резервуара и при расчете интенсивности испарения с поверхности пролива принимаем равной молекулярной массе наиболее легколетучего компонента (н-бутан).

Количество пара в свободном объеме резервуара равно

$$G_{\text{св}} = (1 - 0,8) \cdot \frac{0,058}{8,31} \cdot \frac{70000 \cdot 2000}{273,15 + 38} = 628 \text{ кг}.$$

Интенсивность испарения из пролива, обусловленного диффузионными процессами:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58} \cdot 70 = 0,000533 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с}).$$

Общее количество испарившейся жидкости, кг:

$$G' = 0,000533 \cdot 3000 \cdot 3600 = 5756 \text{ кг}.$$

Суммарное количество пара, участвующего в образовании паровоздушного облака, равно

$$m=628+5756=6384 \text{ кг.}$$

Расчет параметров поражающих факторов

Вычисляем интенсивность теплового излучения пожара пролива $q_{п.п.}$, а также избыточное давление ΔP и импульс i при взрыве паровоздушной смеси на различных расстояниях от резервуара по формулам, приведенным в разделе 1.1.5, и рекомендациям Приложения 1. Для полученных значений поражающих факторов по формулам (8) и (9) рассчитываем пробит-функции. С помощью таблицы Приложения 2 определяем условные вероятности поражения человека ударной волной $P_{Лв}$ и тепловым излучением от пожара пролива $P_{Лп.п.}$.

Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1, за пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0. Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке определяем по формуле (40).

При расчете интенсивности теплового излучения от пожара пролива значение площади пролива принято равным $F_{ж}=3000 \text{ м}^2$.

Эффективный энергозапас горючей паровоздушной смеси определен с учетом коэффициента участия горючего вещества во взрыве Z и с учетом расположения облака на поверхности земли равен:

$$E = 5756 \cdot 43,641 \cdot 0,1 \cdot 2 = 50239,5 \text{ МДж.}$$

При расчете параметров взрыва скорость фронта пламени определена исходя из класса горючего вещества и класса загроможденности пространства (см. Приложение 1) и принята равной $V_f = 200 \text{ м/с}$.

При расчете параметров пожара-вспышки радиус зоны, ограниченной НКПР, $R_{НКПР}$ определяется по формуле (42) и равен

$$R_{НКПР} = 7,8 \cdot \left(\frac{6384}{2,27 \cdot 1,0} \right)^{0,33} = 107 \text{ м.}$$

Результаты расчетов параметров поражающих факторов представлены в табл. П 3.8. Результаты расчета показателей риска представлены в табл. П 3.9.

Таблица П 3.8
Результаты расчетов параметров поражающих факторов (пример № 3)

Расстояние <i>r</i> , м	Пожар пролива			Взрыв				Пожар- вспышка $P_{Л.в.} \cdot 10^2$
	$q_{пл.},$ кВт/м ²	Pr	$P_{Л.пл.} \cdot 10^2$	DP , кПа	i , Па·с	P_T	$P_{Л.в.} \cdot 10^2$	
50	8,754	1,74	0	65,1	1455,8	7,86	99,8	100
100	2,879	-2,06	0	38,5	694,2	6,67	95,3	100
200	0,698	-6,90	0	20,7	332,6	5,17	56,6	100
300	0,285	-9,95	0	14,1	217,9	4,22	21,6	0
400	0,148	-12,20	0	10,7	161,9	3,53	7,1	0
500	0,087	-13,99	0	8,6	128,7	2,99	2,2	0
600	0,056	-15,49	0	7,2	106,9	2,55	1,0	0
700	0,038	-16,80	0	6,2	91,3	2,18	0	0
800	0,027	-17,96	0	5,5	79,7	1,85	0	0
900	0,020	-19,01	0	4,9	70,8	1,57	0	0
1000	0,015	-19,98	0	4,4	63,6	1,31	0	0
1200	0,009	-21,71	0	3,7	52,9	0,87	0	0
1400	0,006	-23,25	0	3,1	45,3	0,49	0	0
1600	0,004	-24,65	0	2,8	39,6	0,17	0	0
1800	0,003	-25,94	0	2,4	35,1	-0,12	0	0
2000	0,002	-27,14	0	2,2	31,6	-0,37	0	0

Таблица П 3.9
Результаты расчетов показателей риска (пример № 3)

Зона	Под зона	Расстояние, м	Потенциальный риск		$R/10^6$, 1/год	Средний индивидуальный риск, 1/год	Коллективный риск, чел/год	
			$P_{п.п.} \cdot P_{Л.п.п.} \cdot 10^6$ 1/год	$P_{п.в.} \cdot P_{Л.п.в.} \cdot 10^6$, 1/год				
А	I	50	0	6,886	2,351	$2,07 \cdot 10^{-6}$		
		100	0	6,576	2,351			
		200	0	3,905	2,349			
Б	II	300	0	1,490	2,334	$4,88 \cdot 10^{-8}$		
		400	0	0,490	2,027			
		500	0	0,152	1,369			
		600	0	0,069	0,739			
		700	0	0	0,414			
В	VI	800	0	0	0,318	$1,19 \cdot 10^{-4}$		
		900	0	0	0,251			
		1000	0	0	0,194			
		1200	0	0	0,132			
		1400	0	0	0,076			
		1600	0	0	0,044			
		1800	0	0	0,025			
		2000	0	0	0,015			

Пример №4. Провести оценку показателей риска (потенциальный, коллективный и средний индивидуальный риск) для объекта хранения ацетона

Исходные данные

Резервуары объемом 300 м³ расположены на территории резервуарного парка склада ацетона. Площадь, занимаемая резервуарным парком и ограниченная обвалованием, равна 2000 м². Вероятность разгерметизации резервуара составляет $P(A)=1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. Остальные исходные данные принять из примера №1.

Решение

Физические свойства веществ и материалов представлены в табл. П 3.10.

Таблица П 3.10

Физические свойства веществ и материалов

Параметр	Значение
Теплота испарения жидкости $\Delta H_{\text{кип}}$, Дж/кг	530000
Удельная теплоемкость жидкости C_p , Дж/(кг·К)	2210
Температура кипения жидкости при атмосферном давлении, °С	56,1
Молярная масса M , кг/кмоль	58
Удельная теплота сгорания ацетона $E_{\text{уд}}$, кДж/кг	31534
Нижний концентрационный предел распространения пламени паров ацетона $C_{\text{НКПР}}$, % об.	2,7

Для расчета показателей риска будем учитывать только наиболее неблагоприятные аварийные ситуации (взрыв, пожар-вспышка и пожар пролива при полной разгерметизации резервуара).

Используя дерево событий, представленное на рис. 11, и учитывая количество резервуаров, определим вероятности сценариев аварий.

Вероятность сгорания паровоздушной смеси в открытом пространстве с образованием волны избыточного давления:

$$P_{\text{в}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1152 = 6,912 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара-вспышки:

$$P_{\text{п.в.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0768 = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность пожара пролива:

$$P_{\text{п.п.}} = 6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Расчет количества опасного вещества, участвующего в аварии

Ацетон при температуре окружающей среды является стабильной жидкостью, поэтому при расчете количества вещества, участвующего в образовании взрывоопасной паровоздушной смеси, принимали, что $G_{\text{мн}}=0$ и $G''=0$.

Площадь пролива жидкости на неограниченной поверхности (материал подстилающей поверхности – грунт) при полной разгерметизации резервуара будет равна:

$$F_{\text{ж}} = 20 \cdot 0,8 \cdot 300 = 4800 \text{ м}^2.$$

Так как площадь пролива, определенная для случая разлива на неограниченной поверхности, $F_{\text{ж}}=4800 \text{ м}^2$ больше площади, ограниченной обвалованием $F_{\text{ж}}=2000 \text{ м}^2$, то окончательно принимаем $F_{\text{ж}}=2000 \text{ м}^2$.

При расчете массы газа в свободном объеме резервуара, давление P в формуле (23) принимаем равным давлению насыщенных паров ацетона $P_{\text{н}}$.

Давление насыщенных паров ацетона при температуре окружающей среды равно

$$P_{\text{н}} = 101325 \cdot \exp\left(\frac{530000 \cdot 58}{8310} \left(\frac{1}{(56,1 + 273,15)} - \frac{1}{(38 + 273,15)}\right)\right) = 52400 \text{ Па}.$$

Количество пара в свободном объеме резервуара равно

$$G_{\text{св}} = (1 - 0,8) \cdot \frac{0,058}{8,31} \cdot \frac{52440 \cdot 300}{273,15 + 38} = 70 \text{ кг.}$$

Интенсивность испарения из пролива, обусловленного диффузионными процессами:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58} \cdot 52,44 = 0,000399 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{с}).$$

Общее количество испарившейся жидкости, кг:

$$G' = 0,000399 \cdot 2000 \cdot 3600 = 2873 \text{ кг.}$$

Суммарное количество пара, участвующего в образовании паровоздушного облака, равно

$$m = 70 + 2873 = 2943 \text{ кг.}$$

Расчет параметров поражающих факторов

Расчет параметров поражающих факторов и показателей риска осуществляется аналогично примеру №3.

Так как в табл. 9 отсутствуют значения среднеповерхностной интенсивности теплового излучения E_f и массовой скорости выгорания m' , определяем данные величины по формулам (56) и (57) соответственно.

Результаты расчетов параметров поражающих факторов представлены в табл. П 3.11.

Результаты расчета показателей риска представлены в табл. П 3.12.

Таблица П 3.11
Результаты расчетов параметров поражающих факторов (пример № 4)

Расстояние <i>r</i> , м	Пожар пролива			Взрыв				Пожар- вспышка $P_{Л.в.} \cdot 10^2$
	$q_{н.п.г}$ кВт/м ²	<i>Pr</i>	$P_{Л.п.н.} \cdot 10^2$	DP, кПа	<i>i</i> , Па·с	<i>Pr</i>	$P_{Л.в} \cdot 10^2$	
50	36,856	8,76	100,0	51,5	734,1	7,12	98,2	100
100	11,020	4,63	35,6	28,8	349,5	5,43	66,7	0
200	2,586	-0,31	0	15,2	168,7	3,68	9,4	0
300	1,055	-3,37	0	10,3	111,0	2,67	1,0	0
400	0,547	-5,61	0	7,8	82,7	1,96	0	0
500	0,324	-7,40	0	6,3	65,8	1,41	0	0
600	0,209	-8,90	0	5,2	54,7	0,97	0	0
700	0,142	-10,21	0	4,5	46,8	0,59	0	0
800	0,101	-11,37	0	3,9	40,9	0,26	0	0
900	0,074	-12,42	0	3,5	36,3	-0,03	0	0
1000	0,056	-13,39	0	3,2	32,6	-0,28	0	0
1200	0,034	-15,12	0	2,6	27,1	-0,73	0	0
1400	0,022	-16,66	0	2,3	23,2	-1,10	0	0
1600	0,014	-18,05	0	2,0	20,3	-1,43	0	0
1800	0,010	-19,34	0	1,8	18,1	-1,71	0	0
2000	0,007	-20,54	0	1,6	16,2	-1,97	0	0

Таблица П 3.12

Результаты расчетов показателей риска (пример № 4)

Зона	Под-зона	Расстояние, м	Потенциальный риск				Число человек в зоне	Средний индивидуальный риск, 1/год	Коллективный риск, чел/год			
			$P_{п.п.} \cdot P_{л.п.} \cdot 10^6$ 1/год	$P_{в.} \cdot P_{г.в.} \cdot 10^6$ 1/год	$P_{п.в.} \cdot P_{л.в.} \cdot 10^6$ 1/год	$R \cdot 10^6$ 1/год						
А	I	50	12,0	6,776	4,62	2,351	5	$2,46 \cdot 10^{-6}$				
		100	4,275	4,602	0	2,351						
		200	0	0,649	0	2,349						
		300	0	0,069	0	2,334						
		400	0	0	0	2,027						
Б	II	500	0	0	0	1,369	44	$1,03 \cdot 10^{-9}$	$5,73 \cdot 10^{-5}$			
		600	0	0	0	0,739						
		700	0	0	0	0,414						
		800	0	0	0	0,318						
		900	0	0	0	0,251						
В	VIII	1000	0	0	0	0,194	942	0				
		1200	0	0	0	0,132						
		1400	0	0	0	0,076						
		1600	0	0	0	0,044						
		1800	0	0	0	0,025						
		2000	0	0	0	0,015						
		1000	0	0	0	0,194				3266	0	
		1200	0	0	0	0,132						
		1400	0	0	0	0,076						
XII	XIII	1600	0	0	0	0,044	3768	0				
		1800	0	0	0	0,025						
		2000	0	0	0	0,015						

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Задание: провести оценку показателей риска (потенциальный, коллективный и средний индивидуальный риск) для объекта хранения опасного вещества. Исходные данные, не указанные в таблице настоящего Приложения, принять из примера №1. Вероятность полной разгерметизации резервуара для хранения стабильной жидкости принять равной $P(A)=1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹, для резервуара хранения перегретой жидкости (сжиженного газа) – $P(A)=1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

Варианты заданий для самостоятельного выполнения

№	Опасное вещество	Объем резервуара, м ³	Количество резервуаров, шт.	Площадь резервуарного парка, ограниченная обвалованием, м ²
1	і-бутан	200	6	900
2	н-пентан	200	8	2000
3	і-пентан	200	8	2000
4	гексан	400	8	2500
5	гексен	400	8	2500
6	нефть	3000	6	5000
7	бутен	200	6	1000
8	этилацетат	400	8	2000
9	пропилен	100	8	800
10	изобутилен	200	6	1000
11	ацетальдегид	300	6	2000
12	винилхлорид	200	6	2000
13	спирт этиловый	400	6	2000
14	циклогексан	400	8	2500
15	дивиниловый эфир	200	8	2000
16	бутадиен	200	6	1200
17	диметиловый эфир	200	8	2000
18	бутен	600	6	2500
19	пропилен	200	6	1000
20	і-бутан	600	6	2000

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ РИСКА.....	4
2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АНАЛИЗА РИСКА	7
3. ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА.....	15
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТ АВАРИЙ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ.....	24
5. МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА ОТ АВАРИЙ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ.....	26
6. СОЦИАЛЬНЫЙ РИСК (F/N-ДИАГРАММА).....	26
7. КОНЦЕПЦИЯ ПРИЕМЛЕМОГО (ДОПУСТИМОГО) РИСКА	29
8. НОМЕНКЛАТУРА ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ	33
9. КЛАССИФИКАЦИЯ АВАРИЙ.....	35
9.1. Классификация взрывов.....	36
9.2. Классификация пожаров.....	39
10. ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ АВАРИЯХ	40
11. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ	43
11.1. Определение количества опасного вещества, участвующего в аварии	43
11.2. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов	50
11.3. Распространение выбросов опасных веществ в атмосфере	52
11.4. Поведение веществ при наличии источников зажигания.....	57
11.5. Математические модели для расчета зон действия поражающих факторов.....	59
11.5.1. Взрыв паровоздушного облака на открытой площадке	59
11.5.2. Пожар-вспышка.....	60
11.5.3. Взрыв резервуара с перегретой жидкостью	61
11.5.4. Взрыв сосуда со сжатым инертным газом	62
11.5.5. Огненный шар	63
11.5.6. Пожар пролива	64
11.5.7. Факельное горение.....	67
12. ДЕРЕВО ОТКАЗОВ.....	68
13. ДЕРЕВО СОБЫТИЙ.....	72
14. АВАРИЙНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ	75
14.1. Аварийно-спасательные службы и аварийно-спасательные формирования.....	75
14.2. Действия ответственного руководителя, работников опасного производственного объекта по локализации и ликвидации аварий и их последствий	77

15. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ	83
15.1. Экономические механизмы управления риском.....	85
15.2. Нормативное регулирование безопасности и риска	87
15.2.1. Декларирование промышленной безопасности	87
15.2.2. Разработка мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций.....	88
15.2.3. Разработка паспортов безопасности.....	89
15.2.4. Лицензирование	91
15.2.5. Экспертиза промышленной безопасности.....	93
15.2.6. Обоснование безопасности опасного производственного объекта	94
15.2.7. Государственный контроль и надзор за промышленной безопасностью	94
15.2.8. Разработка планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий	96
15.3. Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем.....	97
15.3.1. Стадия проектирования технических систем.....	98
15.3.2. Стадия изготовления технических систем.....	99
15.3.3. Стадия эксплуатации технических систем	99
15.3.4. Техническая поддержка и обеспечение	100
15.3.5. Технические средства обеспечения надежности и безопасности технических систем	101
15.3.6. Организационно-управленческие мероприятия	105
16. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ АВАРИЙ	108
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	
Определение ожидаемого режима сгорания облака.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	
Таблица значений условной вероятности поражения $P(L)$ в зависимости от пробит-функции P_r	124
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	
Примеры расчета зон действия поражающих факторов и количественных показателей риска аварий.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	
Варианты заданий для самостоятельного выполнения	148

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*Айнур Дамирович Галеев
Сергей Иванович Поникаров*

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Ответственный за выпуск доц. В. А. Алексеев

Подписано в печать
Бумага офсетная
000 уч.-изд. л.

Печать ризографическая
Тираж 100 экз.

Формат 60×84 1/16
усл. печ. л.
Заказ

Издательство Казанского национального исследовательского
технологического университета

Отпечатано в офсетной лаборатории Казанского национального
исследовательского технологического университета

420015, Казань, К. Маркса, 68