

1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ

Анализ опасностей и оценка риска аварий на ОПО (далее - анализ риска) представляет собой специальные научно-технические методы исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий.

Процедура анализа риска может включать планирование работ, идентификацию опасностей аварий, оценку риска аварий, установление степени опасности возможных аварий, а также разработку и своевременную корректировку мероприятий по снижению риска аварий.

Под опасностью аварии понимается возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрыва и (или) выброса опасных веществ на ОПО. Опасность аварии на ОПО обусловлена наличием на них опасных веществ, продуктов хранения (переработки) растительного сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию, возможностью образования взрывоопасных пылевоздушных смесей, энерго-массообменными свойствами технологических процессов, ошибками проектирования, строительства и эксплуатации, отказами технических устройств и их систем, а также нерасчетными (запроектными) внешними природными, техногенными и антропогенными воздействиями на ОПО. Риск аварии есть мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО и соответствующую ей тяжесть последствий.

Анализ риска рекомендуется проводить при разработке:

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

7. Конспект рекомендуется использовать в качестве основы для разработки отраслевых методических рекомендаций, руководств и методик по проведению анализа риска аварий на ОПО различных отраслей промышленности, транспорта и энергетики. Рекомендации по анализу риска аварий при необходимости могут дополняться и уточняться в соответствующих руководствах по безопасности, отражающих отраслевую специфику и технологические особенности ОПО.

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ РИСКА

Основная цель анализа риска - установление степени аварийной опасности ОПО для представления лицам, принимающим решения по обеспечению промышленной безопасности ОПО, обоснованных сведений (включая количественные и/или качественные показатели риска) о наиболее опасных технологических процессах, составных частях, составляющих, участках ОПО, в том числе выполнения критериев допустимого риска, для заблаговременного

предупреждения угроз причинения вреда жизни, здоровью людей, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, угроз возникновения аварий и (или) чрезвычайных ситуаций техногенного характера, разработки, плановой реализации и своевременной корректировки обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварий и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО, а также мер, компенсирующих отступления от требований федеральных норм и правил в области промышленной безопасности при обосновании безопасности ОПО.

Оценка риска аварии может являться частью анализа риска, состоящей в определении качественных и (или) количественных показателей риска. Показатели риска - характеристики опасности аварии на ОПО (качественные, полуколичественные, количественные), учитывающие возможность и тяжесть последствий рассматриваемых негативных событий. Например, уровень риска по матрице "частота - тяжесть последствий" (приложение N 8 к Конспекту) можно трактовать как качественный или полуколичественный показатель, а индивидуальный риск является количественным показателем риска.

Под ущербом от аварии понимаются потери (убытки) в производственной и непроизводственной сферах жизнедеятельности человека, а также при негативном изменении окружающей среды, причиненные в результате аварии на ОПО и исчисляемые в натуральной или денежной форме.

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

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

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

- 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 (зон с особыми условиями использования территорий, охранных, санитарно-защитных, жилых, общественно-деловых, рекреационных);

- использование сведений об опасностях аварий при разработке стандартов предприятий, 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.

Под качественной оценкой риска аварии рекомендуется понимать представление качественных характеристик и признаков возможности возникновения и соответствующей тяжести последствий реализации аварии для жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды. Под количественной оценкой риска аварии (или количественным анализом риска аварии) понимается процесс расчета показателей риска. Поражающими факторами аварии являются физические процессы и явления, возникающие при разрушении сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемых взрыве и (или) выбросе опасных веществ и определяющие термическое, барическое и иное энергетическое воздействие или токсическое, поражающее человека, имущество и окружающую среду.

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

- уточнение идентификации опасностей аварий с оценкой вероятности и возможных последствий аварий, 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 аварий:

- 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 (производственного контроля);

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

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

3. ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ

При проведении анализа риска аварий рекомендуется последовательно выполнять следующие этапы:

- планирования и организации работ, сбора сведений;

- идентификации опасностей;

- оценки риска аварий на ОПО и (или) его составных частях;

- обобщения результатов оценок риска;

- разработки (корректировки) мер по снижению риска аварий.

При этом под идентификацией опасностей аварии понимается выявление источников возникновения аварий и определение соответствующих им типовых сценариев аварии, а

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

Общая схема анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО представлена на рисунке 2-1 приложения N 2 к Конспекту. Рекомендуемая схема анализа опасностей и оценки риска аварий, связанных с выбросом опасных веществ на ОПО, представлена в приложении N 3 к Конспекту.

14. При планировании и организации анализа риска 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 показатели риска (индивидуальный риск, потенциальный риск, коллективный риск, социальный риск, частота реализации аварии с гибелью не менее одного человека), а также, при необходимости, дополнительные показатели риска, степень их детальности и ограничения;

е) проанализировать, выбрать и определить значения фоновых рисков аварий (показатели риска аварии на ОПО или составной части ОПО, определенное с учетом статистики за последние 5-10 лет) и (или) соответствующие критерии (достижения) допустимого риска аварий, и (или) иные обоснованные показатели безопасной эксплуатации ОПО;

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

При осуществлении сбора сведений для описания анализируемого ОПО и (или) его составной части рекомендуется собрать сведения:

а) об идентификации ОПО;

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

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

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

д) о проектном и фактическом распределении обращающихся опасных веществ;

е) о наличии и техническом состоянии средств взрывопредупреждения и взрывозащиты производственных зданий, сооружений и оборудования объектов (показатели, характеризующие взрывобезопасность и противоаварийную защиту объекта).

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 взрывами и (или) выбросами опасных веществ;

б) провести разделение ОПО на составные части, составляющие (цехи, участки, площадки, хранилища, сооружения, технические устройства или составляющие ОПО, объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому или территориально-административному принципу и входящие в состав 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, при этом рассмотреть инициирующие и последующие события, приводящие к возможному возникновению поражающих факторов аварий, эскалации аварий (т.е. последовательному возникновению аварий, причинами которых являются поражающие факторы аварии на соседних составных частях анализируемого ОПО или рядом расположенных производственных объектов), в том числе сценарии, учитывающие взаимное влияние последствий аварий на соседних объектах.

Под сценарием развития аварии понимается последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим (исходным) событием, приводящих к возникновению поражающих факторов аварии и причинению ущерба от аварии людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды. Под типовым сценарием аварии понимается сценарий аварии после разрушения отдельного сооружения и (или) технического устройства, а также возникновения неконтролируемого взрыва и (или) выброса опасных веществ из единичного технологического оборудования (блока) с учетом регламентного срабатывания имеющихся систем противоаварийной защиты, локализации аварии и противоаварийных действий персонала.

На этапе идентификации опасностей могут быть даны предварительные оценки риска или расчеты наиболее опасных последствий аварии (например, максимальных зон разрушения при взрыве), а также рекомендации по уменьшению опасностей аварий с оценкой их достаточности либо выводы о необходимости проведения более детального анализа 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). Рекомендуются последовательно выполнить качественную и (или) количественную оценки:

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

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

а) статистические данные по аварийности, надежности технических устройств и технологических систем, соответствующие отраслевой специфике ОПО или виду производственной деятельности (характерные частоты аварийной разгерметизации типового оборудования ОПО (за исключением оборудования с обращением твердых веществ и их смесей) представлены в приложении N 4 к Конспекту);

б) логико-графические методы, в том числе "Анализ деревьев событий", "Анализ деревьев отказов", имитационные модели возникновения аварий на ОПО;

в) экспертные специальные знания в области аварийности и травматизма на ОПО, надежности технологических систем.

Оценка последствий и ущерба от возможных аварий включает описание и определение размеров зон возможных воздействий на людей, имущество и (или) окружающую среду. При

этом оценивают физические эффекты аварийных событий (разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, воздействие 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 (приложение N 5 к Конспекту).

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 (например, расчет максимально возможной зоны поражения) анализ риска аварий может исчерпываться только получением отдельных показателей опасности на ОПО и (или) его составных частях.

Показатели опасности - это характеристики опасности аварии на ОПО (качественные, полуколичественные или количественные), имеющие упорядоченные значения, соответствующие уровню опасности. Например, ОПО высокой опасности (качественный показатель), категория взрывоопасности технологического блока (полуколичественный показатель), радиус зоны разрушения (количественный показатель).

На этапе обобщения результатов, в том числе для установления степени опасности аварий на ОПО, рекомендуется проводить сопоставительное сравнение значений полученных показателей опасностей и оценок риска аварий с:

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

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

В случае отсутствия нормативно установленных критериев допустимого (приемлемого) риска рекомендуется определять эти критерии в обосновании безопасности ОПО.

При обосновании критериев допустимого (приемлемого) риска рекомендуется учитывать статистические данные по аварийности, риска гибели людей по неестественным причинам (пожары, дорожно-транспортные происшествия), критерии допустимого риска в смежных областях законодательства, связанных с ОПО (пожарной безопасности, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций).

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

Основные рекомендуемые способы установления степени опасности аварий на ОПО и определения наиболее аварийно-опасных составных частей ОПО представлены в приложении N 6 к Конспекту.

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

В целях обоснования безопасности ОПО при отступлении от требований промышленной безопасности и для разработки мероприятий, компенсирующих эти отступления, результаты анализа риска аварий на ОПО рекомендуется использовать в следующем порядке:

а) обоснованно выбираются показатели риска, наиболее адекватно характеризующие безопасную эксплуатацию ОПО в области тех требований промышленной безопасности, для которых необходимы отступления и требуются соответствующие компенсирующие или дополнительные мероприятия;

б) оцениваются значения выбранных показателей риска до и после возможных и фактических отступлений от требований промышленной безопасности, а также до и после возможного и фактического внедрения компенсирующих мероприятий;

в) оцененные изменения сравниваются с соответствующими критериями безопасной эксплуатации при отступлении от требований промышленной безопасности, которые предварительно обосновываются, например, в виде соответствия рассчитанных показателей риска допустимым значениям.

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

обоснованные рекомендации по снижению риска аварий для наиболее опасных составных частей ОПО;

способы предупреждения возникновения возможных инцидентов и аварий на ОПО.

Выбор рекомендаций по снижению риска аварий имеет следующие приоритеты:

а) меры, снижающие возможность возникновения аварий, включающие:

уменьшение возможности возникновения инцидентов;

уменьшение вероятности перерастания инцидента в аварию;

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

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

уменьшение вероятности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий;

ограничение возможности возрастания масштаба и интенсивности воздействия поражающих факторов аварий;

уменьшение вероятности развития аварий по наиболее опасным сценариям возможной аварии;

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

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

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

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

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

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.

4. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПАСНОСТИ АВАРИЙ

Основным показателем опасности на ОПО является риск аварий, который учитывает вероятностный, случайный характер превращения аварийной опасности на ОПО в непосредственную угрозу возникновения аварий с последующим возможным причинением вреда жизни, здоровью людей, вреда животным, растениям, окружающей среде, безопасности государства, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу. Количественной мерой вреда является ущерб от аварий (в натуральных или стоимостных единицах).

При анализе опасностей рекомендуется оценивать риск аварий определением качественных признаков угроз аварий и количественных параметров случайной величины ущерба от аварий. В качестве основных и дополнительных показателей риска рекомендуется использовать числовые характеристики случайной величины ущерба от аварий, например, ожидаемый ущерб как математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии за определенный период времени.

Перечень оцениваемых основных и дополнительных показателей риска определяется задачами анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО. Показатели риска рекомендуется представлять в виде значений, рассчитанных для отдельных составляющих, участков, единиц оборудования ОПО, а также значений для всего анализируемого объекта.

Для оценки риска аварий рекомендуется использовать следующие показатели риска:

индивидуальный риск $R_{\text{инд}}$ - ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии;

потенциальный риск (или потенциальный территориальный риск) $R_{\text{пот}}$ - частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке ОПО и прилегающей территории;

коллективный риск (или ожидаемые людские потери) $R_{\text{колл}}$ - ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени;

социальный риск (или риск поражения группы людей) $F(x)$ - зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N (представляется в виде соответствующей F/N -кривой);

частота реализации аварии с гибелью не менее одного человека R_1 .

Показатели индивидуального риска $R_{\text{инд}}$ и коллективного риска $R_{\text{колл}}$ рекомендуется представлять в виде значений вероятности гибели человека и ожидаемого количества погибших из числа выбранной группы лиц в течение одного года.

Распределение потенциального риска $R_{\text{пот}}$ рекомендуется представлять на ситуационном плане в виде изолиний, кратных отрицательной степени числа 10,

показывающих распределение значений риска гибели людей от поражающих факторов аварий по территории ОПО и прилегающей местности в течение 1 года.

Показатель социального риска $F(x)$ рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции, описывающей зависимость ожидаемой частоты аварий, в которых может погибнуть не менее x человек, от числа погибших x .

В соответствии с задачами анализа риска аварий помимо основных могут применяться и дополнительные показатели риска. Дополнительные показатели риска представлены в таблице N 7-1 приложения N 7 к Конспекту.

1. При расчете количества погибших и пострадавших рекомендуется условно разделять людей, присутствующих в области реализации опасных факторов на группы P и подгруппы k (подгруппа может состоять из единственного человека). Разбиение на группы обусловлено различными критериями безопасности для людей, входящих в них. Например, в отдельные группы могут быть выделены персонал и подрядчики, работающие непосредственно на ОПО, либо третьи лица, проживающие или временно присутствующие на территории, прилегающей к ОПО.

Разбиение группы людей на подгруппы производится, исходя из различий в расположении мест нахождения людей (рабочих мест, мест проживания, присутствия и т.д.) и времени их присутствия в области возможного воздействия аварии. В пределах каждой подгруппы поведение людей характеризуется одинаковыми параметрами - степень защищенности, время нахождения на соответствующей территории.

2. Выделяются также состояния пребывания людей l , в которых находятся люди в подгруппах различных групп. Состояния l выбираются в зависимости от смен персонала проведения аварийных (регламентных) ремонтных или строительных работ на территории ОПО, периодического появления массового скопления людей вблизи ОПО. Например, персонал ОПО (группа $P=1$) подгруппы $k=1$ находится на ОПО с 8 до 17 часов в будние дни, персонал подгруппы $k=2$ - с 8 до 20 часов каждый день. Жители садового товарищества (группа $P=2$) присутствуют вблизи ОПО постоянно. Тогда общее число состояний l составит три ($L=3$): состояние $l=1$ реализуется по будням с 8 до 17 часов (в результате аварии могут пострадать персонал подгруппы $k=1$ и $k=2$, а также местные жители), состояние $l=2$ реализуется по будням с 17 до 20 часов и выходным с 8 до 20 часов (в результате аварии могут пострадать персонал подгруппы $k=2$, а также местные жители), состояние $l=3$ реализуется в остальное время (пострадать могут только местные жители).

При расчете количества погибших и пострадавших в результате реализации i -ого сценария аварии выделяют следующие показатели: количество пострадавших $N_{пстр,l}^i$, количество погибших $N_{гиб,l}^i$ при реализации l -ого состояния пребывания людей, среднее количество погибших $N_{ср\ гиб}^i$, среднее количество пострадавших $N_{ср\ пстр}^i$. Указанные показатели далее обобщенно обозначены $N_{пстр,l/гиб,l/ср\ гиб/ср\ пстр}^i$.

3. С учетом разбиения на группы и подгруппы в общем виде выделяются три типа показателей риска поражения человека: общие по всем людям, находящимся на ОПО или в его близи, - $N_{пстр,l/гиб,l/ср\ гиб/ср\ пстр}^i$; для группы лиц - $N_{пстр,l/гиб,l/ср\ гиб/ср\ пстр}^{ip}$; для подгруппы лиц - $N_{пстр,l/гиб,l/ср\ гиб/ср\ пстр}^{ikp}$:

$$N_{nстр, j / зиб, j / ср зиб / ср нстр}^i = \sum_{p=1}^P N_{nстр, l / зиб, j / ср зиб / ср нстр}^{ip}; \quad (1)$$

$$N_{nстр, j / зиб, j / ср зиб / ср нстр}^P = \sum_{k=1}^K \left[N_{nстр, j / зиб, j / ср зиб / ср нстр}^{kp} \right]$$

где:

K - число подгрупп людей в P -ой группе;

P - число групп людей;

$\lceil \quad \rceil$ - знак округления до большего целого.

4. Для оценки последствий каждого рассматриваемого i -го сценария рекомендуется определять количество пострадавших в k -ой подгруппе в P -ой группы людей, находящихся в состоянии l . $N_{nстр, l}^{ikp}$, $N_{nстр, l}^{ip}$, $N_{nстр, l}^i$ рассчитываются на основе $N_{nстр, l}^{ikp}$ по формулам (1) на основе количества людей, оказавшихся в зоне действия поражающих факторов:

$$N_{nстр, l}^{ikp} = \iint_{\Omega_i} \mu_i^{kp}(x, y) dx dy; \quad (2)$$

$$\Omega_i = \bigcup_{j=1}^{\Phi_i} \Omega_{ij},$$

где:

$\mu_i^{kp}(x, y)$ - функция, описывающая территориальное распределение k -ой подгруппы P -ой группы людей, находящихся в состоянии l , в пределах зоны действия поражающих факторов (плотность распределения людей, чел/м²) при реализации i -ого сценария аварии;

Φ_i - количество поражающих факторов, которые могут действовать одновременно при реализации i -го сценария;

Ω_{ij} - область действия j -го поражающего фактора в пределах зоны поражения, определяемой в соответствии с детерминированными критериями поражения, установленными в приложении N 5 Руководства, или определяемой по границе достижения вероятности гибели $v_{уяз, l}^{ijkp}(x, y) \cdot P_{зиб}^{ij}(x, y) \geq 0,01$ (с учетом защищенности k -ой подгруппы P -ой группы людей, находящихся в состоянии l) при реализации i -го сценария аварии;

$v_{уяз, l}^{ijkp}(x, y)$ - коэффициент уязвимости человека из k -ой подгруппы P -ой группы в состоянии l , находящегося в точке территории с координатами (x, y) от j -го поражающего фактора, который может реализоваться в ходе i -го сценария аварии, и зависит от защитных свойств помещения, укрытия, в котором может находиться человек в момент аварии, используемых средств индивидуальной защиты; величина: $v_{уяз, l}^{ijkp}(x, y)$ изменяется от 0 (человек неуязвим) до 1 (человек не защищен из-за незначительных защитных свойств укрытия), или превышать 1 в случае гибели людей при обрушении зданий.

5. Для определения среднего количества пострадавших в k -ой подгруппе в P -ой группы людей при i -м сценарии формулу: (x, y) :

$$N_{ср нстр}^{ikp} = \sum_{l=1}^L \left(\iint_{\Omega_i} \mu_i^{kp}(x, y) \cdot q_l^{kp}(x, y) dx dy \right) \quad (3)$$

$$\Omega_i = \bigcup_{j=1}^{\Phi_i} \Omega_{ij}$$

где:

$q_l^{kp}(x, y)$ - доля времени нахождения k -ой подгруппы P -ой группы людей в точке x , y в состоянии l (то есть доля времени, в течение которого сохраняется территориальное распределение k -ой подгруппы P -ой группы людей, находящихся в состоянии l , $\mu_l^{kp}(x, y)$);

$\mu_l^{kp}(x, y)$ - функция, описывающая территориальное распределение k -ой подгруппы P -ой группы людей в состоянии l в пределах зоны действия поражающих факторов (плотность распределения людей, чел/м²) в течение времени, когда сохраняется территориальное распределение k -ой подгруппы P -ой группы людей.

6. Для производственного персонала общую долю времени присутствия на ОПО 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 и групп людей долю времени, при которой реципиент (субъект) подвергается опасности, можно оценить следующим образом:

для мест постоянного проживания - 1 (житель 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.

Например, для пассажиров поездов, движущихся по железнодорожному пути, функция $\mu^{kp}(x, y) \cdot q^{kp}(x, y)$ может быть представлена для любых вариантов l в виде:

$$\mu^{kp}(x, y) \cdot q^{kp}(x, y) = H_n \cdot \frac{N_n}{V_n \cdot 24} \cdot \delta_l,$$

где:

H_n - среднее количество поездов в сутки, движущихся по рассматриваемому железнодорожному пути;

N_n - среднее количество пассажиров в одном поезде;

V_n - средняя скорость движения поезда (км/час);

δ_l - криволинейная дельта-функция (км):

$$\iint_S f(x, y) \cdot \delta_l dx dy = \int_l f(x, y) dl.$$

7. Максимально возможное количество потерпевших (далее - МВКП) для целей страхования ответственности в соответствии с Федеральным законом от 27 июля 2010 г. N 225-ФЗ "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте" рекомендуется определять как максимальное значение среди $N_{ср\ nстр}^i$ по всем сценариям аварии.

Для каждого i -го сценария расчет количества погибших в k -ой подгруппе в P -ой группы людей, находящихся в состоянии l , в зоне действия поражающих факторов рекомендуется проводить по формуле:

$$N_{зуб,j}^{ikp} = \iint_{\Omega_i} \mu_i^{kp}(x,y) \times \\ \times \min \left(1; 1 - \prod_{j=1}^{\Phi_i(x,y)} \left(1 - v_{уяз,j}^{ijkp}(x,y) \cdot P_{зуб}^{ij}(x,y) \right) \right) dx dy, \quad (4)$$

где:

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

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

Для определения среднего количества погибших среди k -ой подгруппы P -группы людей при i -ом сценарии с учетом различного времени пребывания людей для ряда заданных распределений $\mu_i^{kp}(x,y)$ следует использовать следующую формулу:

$$N_{ср\ зуб}^{ikp} = \sum_{l=1}^L \left(\iint_{\Omega_i} \mu_i^{kp}(x,y) \cdot q_l^{kp}(x,y) \times \right. \\ \left. \times \min \left(1; 1 - \prod_{j=1}^{\Phi_i(x,y)} \left(1 - v_{уяз,j}^{ijkp}(x,y) \cdot P_{зуб}^{ij}(x,y) \right) \right) dx dy \right). \quad (5)$$

Количество погибших и пострадавших $N_{пост,l / зуб,l / ср\ зуб / ср\ пост}^{ikp}$ для людей, находящихся в зданиях, рекомендуется определять с учетом возможного разрушения здания при взрыве согласно приложению N 3 к федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств" таким образом, что коэффициент уязвимости при реализации сценариев с взрывом равен 1, если здание попадает в зону разрушений при взрыве. При этом условная вероятность гибели людей в здании принимается в зависимости от степени разрушения зданий. Коэффициент уязвимости при реализации поражающих факторов, связанных с термическим и токсическим поражением, рекомендуется определять, исходя из способности укрытия. При отсутствии сведений о защитных свойствах укрытия следует принимать коэффициент уязвимости равным единице.

Величину потенциального риска гибели людей $R_{пот}(x,y)$ (год⁻¹) в точке (x,y) для реципиентов с одинаковыми коэффициентами уязвимости $v_{уяз,l}^{ijkp}(x,y)$ рекомендуется определять по формуле:

$$R_{пот}(x,y) = \sum_{i=1}^I Q_i \cdot \min \left(1; 1 - \prod_{j=1}^{\Phi_i(x,y)} \left(1 - v_{уяз,j}^{ijkp}(x,y) \cdot P_{зуб}^{ij}(x,y) \right) \right) \quad (6)$$

где:

I - число сценариев развития аварий;

Q_i - частота реализации в течение года i -го сценария развития аварии, год⁻¹;

$v_{уяз}^{ij}(x, y)$ - коэффициент уязвимости для i -ого сценария и j -ого опасного фактора, который принимает значения $v_{уяз, l}^{ijkp}(x, y)$.

Индивидуальный риск рекомендуется оценивать частотой гибели определенного человека (человека из подгруппы людей) в результате аварий в течение года. Величину индивидуального риска $R_{инд}^{kp}$, год⁻¹ для человека k -ой подгруппы P -ой группы рекомендуется определять по формуле:

$$R_{инд}^{kp} = \sum_{g=1}^G q^{kp}(g) \cdot R_{пот}(g), \quad (7)$$

где:

G - число различных областей территории и состояний коэффициентов защищенности при условии, что величину потенциального риска на всей площади, каждой из таких областей можно принять одинаковой;

$q^{kp}(g)$ - вероятность присутствия индивида из k -ой подгруппы, P -ой группы в g -ой области территории и состояний коэффициентов защищенности с учетом продолжительности действия поражающего фактора.

Величину максимального индивидуального риска гибели в P -ой группе лиц рекомендуется определять по формуле:

$$R_{инд}^P = \max(R_{инд}^{1P}, R_{инд}^{2P}, \dots, R_{инд}^{KP}). \quad (8)$$

Величину коллективного риска по пострадавшим/погибшим людям в k -ой подгруппе P -ой группы лиц рекомендуется определять по формуле:

$$R_{колл\ постр/гиб}^{kp} = \sum_{i=1}^I N_{ср.постр/ср.гиб}^{ikp} \cdot Q_i, \quad (9)$$

где $N_{ср.постр/ср.гиб}^{ikp}$ - среднее количество пострадавших/погибших в k -ой подгруппе P -ой группы лиц в i -ом сценарии аварии.

Величину коллективного риска для P -ой группы лиц рекомендуется определять по формуле:

$$R_{колл\ постр/гиб}^P = \sum_{k=1}^K R_{колл\ постр/гиб}^{kp}. \quad (10)$$

Общий коллективный риск $R_{колл\ постр/гиб}$ определяется суммированием $R_{колл\ постр/гиб}^P$ по всем группам P :

$$R_{колл\ постр/гиб} = \sum_{p=1}^P R_{колл\ постр/гиб}^P. \quad (11)$$

В результате расчета числа погибших, проводимого по формуле (4), получается

вещественная величина $N_{гиб,l}^{ikp}$. Частота гибели $N_{гиб,l}^{ikp}$ составляет Q_{il} , которая определяется как произведение Q_i и доли времени реализации состояния l . Тогда количество погибших $N_{гиб,l}^{ikp}$ с частотой Q_{il} можно рассматривать эквивалентным гибели $\lfloor N_{гиб,l}^{ikp} \rfloor$ человек с частотой, $Q_{il} \cdot \left(\lfloor N_{гиб,l}^{ikp} \rfloor - N_{гиб,l}^{ikp} \right)$ ($\lfloor \cdot \rfloor$ - знак округления до меньшего целого, $\lceil \cdot \rceil$ - округление в большую сторону) и $\lceil N_{гиб,l}^{ikp} \rceil$ человек с частотой $Q_{il} \cdot \left(N_{гиб,l}^{ikp} - \lfloor N_{гиб,l}^{ikp} \rfloor \right)$. Тогда для каждого l -ого варианта распределения людей при реализации i -ого сценария может произойти $T = 2^K$ вариантов гибели людей в P -ой группе. Для каждого t -ого варианта гибели людей в P -ой группе $N_{гиб,l}^{ipt}$ определяется суммой округленных величин $N_{гиб,l}^{ikp}$, способных принимать два значения ($\lfloor N_{гиб,l}^{ikp} \rfloor$ и $\lceil N_{гиб,l}^{ikp} \rceil$). При этом комбинация округленных значений $N_{гиб,l}^{ikp}$ для каждого t -ого варианта является уникальной (построение комбинаций производится по аналогии с полным факторным экспериментом):

$$\begin{aligned} N_{гиб,l}^{ip(t=1)} &= \lfloor N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \rfloor + \lfloor N_{гиб,l}^{i(k=2)p} \rfloor + \dots + \lfloor N_{гиб,l}^{i(k=K)p} \rfloor \\ &\dots \\ N_{гиб,l}^{ip(t=T)} &= \lceil N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \rceil + \lceil N_{гиб,l}^{i(k=2)p} \rceil + \dots + \lceil N_{гиб,l}^{i(k=K)p} \rceil \end{aligned} \quad (12)$$

Для каждого t -ого варианта гибели людей в P -ой группе Q_{ilt} определяется произведением Q_{il} и условных вероятностей реализации $\lfloor N_{гиб,l}^{ikp} \rfloor$ или $\lceil N_{гиб,l}^{ikp} \rceil$ для каждой k -ой подгруппы P -ой группы, которые определяются значениями $\left(\lfloor N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \rfloor - N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \right)$ или $N_{гиб,l}^{i(k=1)p} - \lfloor N_{гиб,l}^{i(k=K-1)p} \rfloor$ соответственно:

$$\begin{aligned} Q_{il(t=1)} &= Q_{il} \left(\lfloor N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \rfloor - N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \right) \left(\lfloor N_{гиб,l}^{i(k=2)p} \rfloor - N_{гиб,l}^{i(k=2)p} \right) \times \\ &\dots \times \left(\lfloor N_{гиб,l}^{i(k=K-1)p} \rfloor - N_{гиб,l}^{i(k=K-1)p} \right) \left(\lfloor N_{гиб,l}^{i(k=K)p} \rfloor - N_{гиб,l}^{i(k=K)p} \right) \\ &\dots \\ Q_{il(t=T)} &= Q_{il} \left(N_{гиб,l}^{i(k=1)p} - \lceil N_{гиб,l}^{i(k=1)p} \rceil \right) \left(N_{гиб,l}^{i(k=2)p} - \lceil N_{гиб,l}^{i(k=2)p} \rceil \right) \times \\ &\dots \times \left(N_{гиб,l}^{i(k=K-1)p} - \lceil N_{гиб,l}^{i(k=K-1)p} \rceil \right) \left(N_{гиб,l}^{i(k=K)p} - \lceil N_{гиб,l}^{i(k=K)p} \rceil \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F_p(N)$ для P -ой группы лиц, задаваемой уравнением:

$$F_p(N) = \sum_i \sum_l \sum_t Q_{ilt} \cdot \theta(N_{гиб,l}^{ipt} - N), \quad (14)$$

где $\theta(X)$ - функция Хевисайда:

$$\theta(X) = \begin{cases} 0, & X < 0, \\ 1, & X \geq 0. \end{cases} \quad (15)$$

Частота аварии с гибелью не менее одного человека равна:

$$R_1 = F(1). \quad (16)$$

При анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств, систем обнаружения утечек, автоматизированных систем управления технологическим процессом, систем противоаварийной защиты, рекомендуется анализировать технический риск (вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования ОПО).

В качестве приоритетного специального метода анализа риска аварий при идентификации опасностей технологических процессов рекомендуется использовать метод "Анализ опасности и работоспособности".

При выборе и применении методов анализа риска рекомендуется учитывать стадии жизненного цикла ОПО (проектирование, эксплуатация, консервация, ликвидация), цели анализа, критерии безопасности, значения допустимого риска аварий, размещение и технологические характеристики анализируемого объекта, основные опасности, наличие ресурсов для проведения анализа опасностей и оценки риска аварий, наличие необходимой информации. Рекомендуется учитывать, что метод анализа риска должен:

- быть научно обоснован и соответствовать рассматриваемым опасностям;
- давать результаты в виде, позволяющем лучше понять формы реализации опасностей и наметить пути снижения риска аварий;
- быть повторяемым и проверяемым.

49. Краткая характеристика рекомендуемых методов анализа риска аварий представлена в приложении N 8 к Конспекту.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА РИСКА

Результаты анализа риска аварии рекомендуется обосновывать и оформлять таким образом, чтобы выполненные расчеты и выводы могли быть проверены и повторены специалистами, которые не участвовали при первоначальном анализе риска аварии.

Объем и форма отчета с результатами анализа риска аварий зависит от целей и задач проведенного анализа опасностей и оценки риска аварий.

В отчет по количественной оценке риска аварий рекомендуется включать (если иное не определено нормативными правовыми актами, например, требованиями к оформлению декларации промышленной безопасности или обоснования безопасности):

- титульный лист;
- список исполнителей с указанием должностей, научных званий, организаций;
- аннотацию;
- содержание (оглавление);
- цели и задачи проведенного анализа риска аварий;
- описание анализируемого ОПО и (или) его составных частей;
- описание используемых методов анализа, моделей аварийных процессов и обоснование их применения, исходные предположения и ограничения;
- исходные данные и их источники, в том числе данные по аварийности и надежности оборудования;
- результаты идентификации опасности аварий;

результаты оценки риска аварии;
анализ неопределенностей результатов оценки риска аварий;
обобщение результатов оценок, включая сравнение с критериями допустимого риска;
рекомендации по снижению риска аварий;
заключение;
перечень используемых источников информации.

Приложение N 1

Термины и определения

Авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов").

Безопасность (safety) - отсутствие неприемлемого риска (статья 3 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 : Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения).

Безопасность продукции и связанных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (безопасность) - состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений (статья 2 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ "О техническом регулировании").

Взрыв - быстрое химическое превращение среды, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов (пункт 3 статьи 2 Федерального закона от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности").

Взрывоопасная смесь - смесь воздуха или окислителя с горючими газами, парами легковоспламеняющихся жидкостей, горючими пылями или волокнами, которая при определенной концентрации и возникновении источника инициирования взрыва способна взорваться (пункт 4 статьи 2 Федерального закона от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности").

Допустимый риск - риск, который в данной ситуации считают приемлемым при существующих общественных ценностях (статья 3 ГОСТ Р 51898-2002 : Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты).

Идентификация опасности (hazard identification) - процесс осознания того, что опасность существует, и определения ее характерных черт (статья 2 ГОСТ Р 51901.1-2002 : Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем).

Инцидент - отказ или повреждение технических устройств, применяемых на ОПО, отклонение от установленного режима технологического процесса (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов").

Обоснование безопасности опасного производственного объекта - документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на ОПО и связанной с ней угрозы,

условия безопасной эксплуатации ОПО, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации ОПО (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов").

Огненный шар - крупномасштабное диффузионное горение, реализуемое при разрыве резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением с воспламенением содержимого резервуара (ГОСТ Р 12.3.047-2012 . ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.).

Опасность (hazard) - источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда (статья 2 ГОСТ Р 51901.1-2002 : Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем).

Опасные вещества - воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды, перечисленные в приложении 1 к Федеральному закону от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" .

Опасный производственный объект - предприятие или его цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, указанные в приложении 1 к Федеральному закону 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" .

Промышленная безопасность ОПО (промышленная безопасность, безопасность ОПО) - состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на ОПО и последствий указанных аварий (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов").

Требования промышленной безопасности - условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" , других федеральных законах, принимаемых в соответствии с ними нормативных правовых актах Президента Российской Федерации, нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, а также федеральных норм и правил в области промышленной безопасности (пункт 1 статьи 3 Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов").

Общая схема анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО

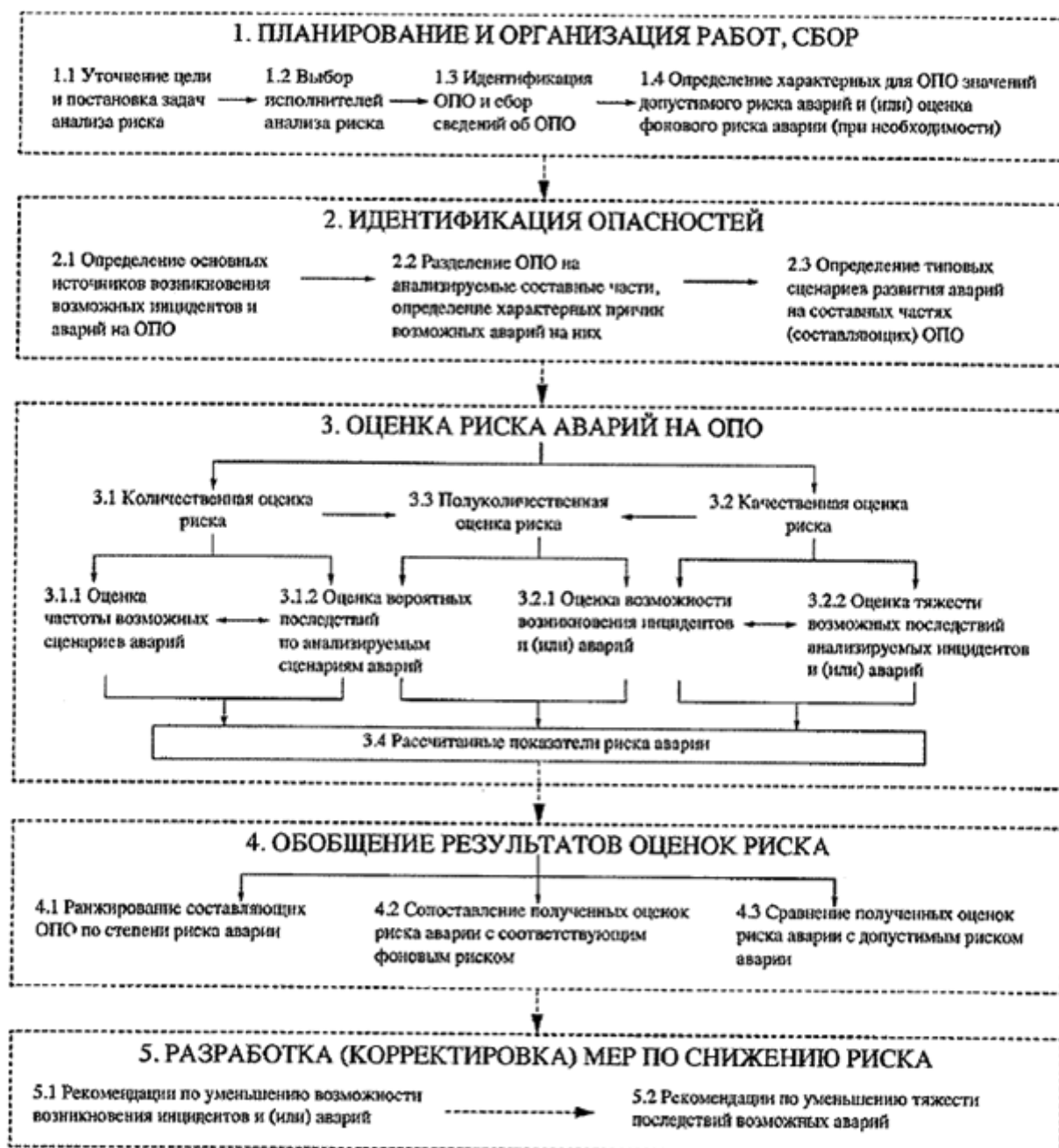


Рисунок 2-1. Общая схема анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО

Рекомендуемая схема анализа опасностей и оценки риска аварий, связанных с выбросом опасных веществ на ОПО

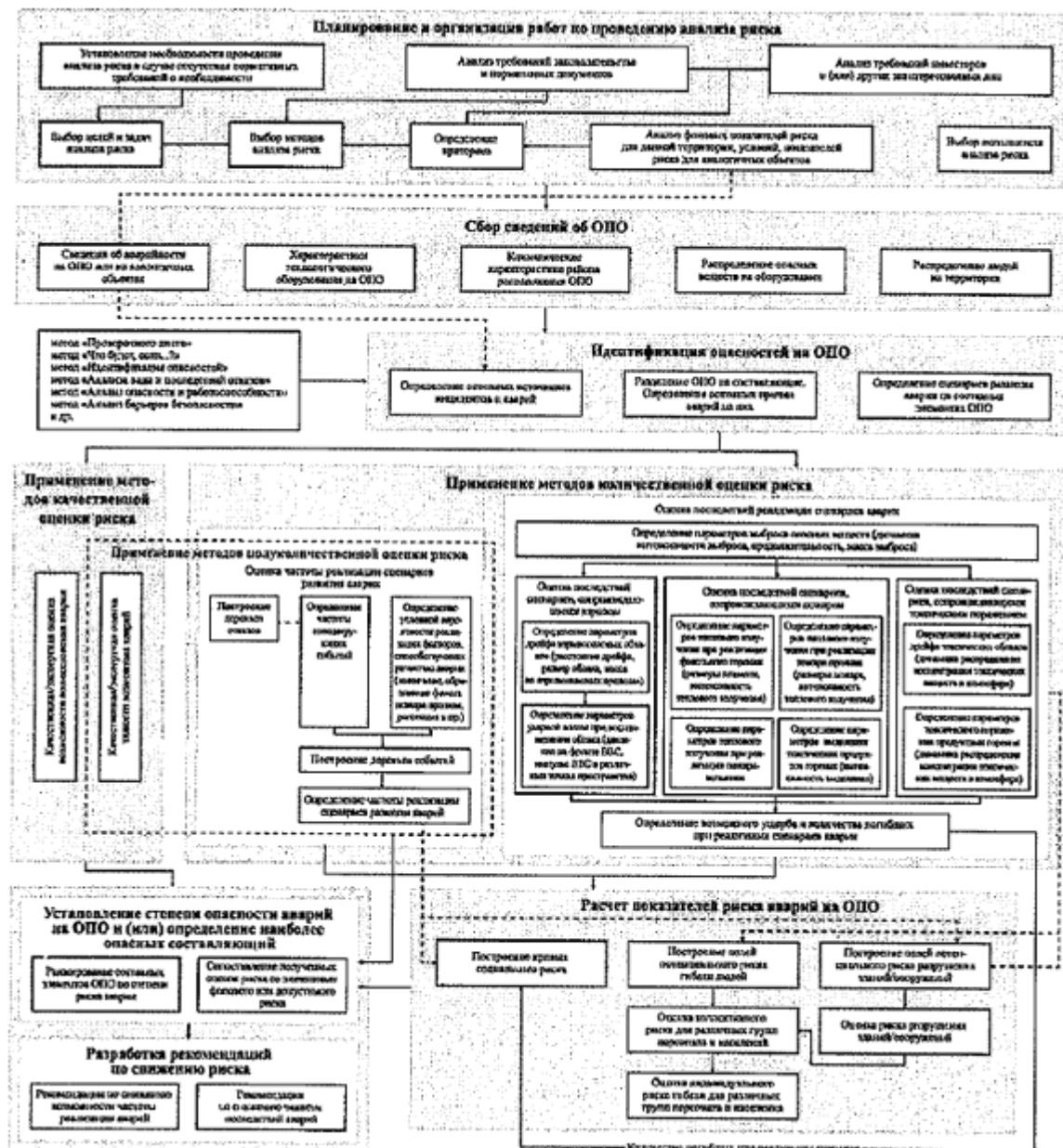


Рисунок 3-1. Рекомендуемая схема анализа опасностей и оценки риска аварий, связанных с выбросом опасных веществ на ОПО

**Частоты аварийной разгерметизации типового оборудования ОПО, на которых
обращаются (хранятся, транспортируются) опасные вещества**

Таблица N 4-1

Частоты разгерметизации технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода (DN)	Частота разгерметизации, 1/(год×м)	
	Разрыв на полное сечение	Истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN, но не более 50 мм
Менее 75 мм	1×10^{-6}	5×10^{-6}
От 75 до 150 мм	3×10^{-7}	2×10^{-6}
Более 150 мм	1×10^{-7}	5×10^{-7}
Примечание: Частота разгерметизации определена исходя из одного фланцевого соединения на 10 м трубопровода. Допускается уточнение данных по фланцевым соединениям при их обосновании с указанием источника информации.		

Таблица N 4-2

Частоты разгерметизации насосов и компрессоров

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/год	
	Катастрофическое разрушение соответствующее разрыву на полное сечение подводящего трубопровода	Истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN наибольшего подводящего трубопровода, но не более 50 мм
Центробежные насосы герметичные	1×10^{-5}	5×10^{-5}
Центробежные насосы с уплотнениями	1×10^{-4}	$4,4 \times 10^{-3}$
Поршневые насосы	1×10^{-4}	$4,4 \times 10^{-3}$

Компрессоры	1×10^{-4}	$4,4 \times 10^{-3}$
-------------	--------------------	----------------------

Таблица N 4-3

Частоты разгерметизации технологических аппаратов, реакторов и сосудов под давлением

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/год	
	Полное разрушение, мгновенный выброс	Истечение через отверстие эффективным диаметром 10 мм
Сосуды хранения под давлением	1×10^{-6}	1×10^{-5}
Технологические аппараты (в т.ч. ректификационные колонны, конденсаторы, фильтры)	1×10^{-5}	1×10^{-4}
Химические реакторы	1×10^{-5}	1×10^{-4}

Таблица N 4-4

Частоты разгерметизации резервуаров и изотермических хранилищ

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/год			
	Полное разрушение, мгновенный выброс		Истечение через отверстие эффективным диаметром 10 мм	
	Выброс в окружающую среду	Выброс в межстенное пространство	Выброс в окружающую среду	Выброс в межстенное пространство
Одностенный резервуар а)	1×10^{-5}	-	1×10^{-4}	-
Резервуар с внешней защитной оболочкой б)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	-	1×10^{-4}
Резервуар с двойной оболочкой в)	$2,5 \times 10^{-8}$	1×10^{-7}	-	1×10^{-4}

Резервуар полной герметизации ^{г)}	1×10^{-8}	-	-	-
Мембранный резервуар ^{д)}	1×10^{-8}	-	-	-
Заглубленный резервуар ^{е)}	-	1×10^{-8}	-	-
Обсыпанный грунтом резервуар ^{ж)}	1×10^{-8}	-	-	-

Примечания:

а) имеется одна оболочка, предназначенная для хранения жидкости. Вторая (внешняя) оболочка может присутствовать, однако она обеспечивает защиту только от воздействия окружающей среды и при разрушении внутренней оболочки не может удерживать ни газ, ни жидкость;

б) имеется внутренняя оболочка для хранения жидкости и внешняя защитная оболочка, обеспечивающая удерживание жидкости при утечке из внутренней оболочки, но не обеспечивающая удержание газа. Внешняя оболочка не обеспечивает защиту от внешних воздействий (взрыва, воздействия разлетающихся обломков и термического воздействия);

в) имеются первичная оболочка для жидкости и внешняя оболочка. Внешняя оболочка может удерживать пролитую жидкость и защищать от различных внешних воздействий, таких как взрывы, воздействие разлетающихся обломков и термическое воздействие, однако не предусматривает удержание газа (паров);

г) имеются внутренняя и внешняя оболочки. Внешняя оболочка обеспечивает удержание пролитой жидкости и пара и защищает от различных внешних воздействий, таких как взрывы, воздействие разлетающихся обломков и термическое воздействие;

д) имеются внутренняя и внешняя оболочки. Внутренняя оболочка (мембрана) не является несущей (опирается на внешнюю оболочку, выполненную из бетона) и при рабочих условиях удерживает жидкость и ее пары. При разгерметизации внутренней оболочки вся жидкость собирается в пределах внешней оболочки, при этом исключен неконтролируемый сброс паров. Крыша является частью внешней оболочки.

е) уровень жидкости в хранилище находится ниже уровня земли. При полном разрушении рассматривается только испарение со всей площади зеркала жидкости в резервуаре;

ж) резервуар, который полностью обсыпан грунтом. Уровень жидкости находится

выше уровня планировочной отметки прилегающей территории;

В дополнение к перечисленным типам резервуаров возможны и другие конструкции. Для них должен быть выбран соответствующий аналог из описанных выше типов резервуаров. Например, двустенный металлический резервуар не подпадает под определение резервуара с полной герметизацией, а более подходит к определению резервуара с двойной оболочкой, поэтому к нему применимы сценарии именно для этого типа резервуара.

Таблица N 4-5

Частоты разгерметизации теплообменников

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/год				
	Разрушение кожуха, мгновенный выброс	Истечение из кожуха через отверстие эффективным диаметром 10 мм	Разрыв 10 теплообменных труб на полное сечение	Разрыв одной теплообменной трубы на полное сечение	Истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN теплообменной трубы, но не более 50 мм
Пластинчатые теплообменники	1×10^{-4}	1×10^{-3}	-	-	-
Кожухотрубные теплообменники (опасное вещество в межтрубном пространстве)	1×10^{-4}	1×10^{-3}	-	-	-
Кожухотрубные теплообменники (опасное вещество в трубном пространстве)	-	-	1×10^{-5}	1×10^{-3}	1×10^{-2}

Аппараты воздушного охлаждения	-	-	1×10^{-5}	1×10^{-3}	-
Примечания: 1. В качестве теплообменников могут рассматриваться холодильники, так как в них используются те же виды конструкций, а отличаются они только по своим функциям: в холодильниках происходит изменение фазового состояния вещества из газообразного в жидкое. 2. Для теплообменников, в которых опасное вещество обращается в трубном пространстве, но кожух рассчитан на давление опасного вещества в трубном пучке, разрушение одной трубы и частичная разгерметизации не приводят к выбросу опасных веществ, а частота сценария одновременного разрушения 10 теплообменных труб принимается равной 1×10^{-6} 1/год, 3. Если в дополнение к опасному веществу, обращающемуся в трубном пространстве, в межтрубном пространстве также обращается опасное вещество, необходимо учесть выброс двух опасных веществ по всем рассматриваемым сценариям.					

Таблица N 4-6

Частоты разгерметизации автомобильных и железнодорожных цистерн (в стационарном положении)

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/год	
	Полное разрушение, мгновенный выброс	Истечение через отверстие, соответствующее размеру наибольшего соединения
Цистерна под избыточным давлением	5×10^{-7}	5×10^{-7}
Цистерна при атмосферном давлении	1×10^{-5}	5×10^{-7}

Частоты разгерметизации при сливо-наливных операциях автомобильных, железнодорожных цистерн и морских (речных) транспортных средств

Тип оборудования	Частота разгерметизации, 1/ч	
	Разрыв на полное сечение	Истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN наливного устройства (шланга), но не более 50 мм
Бесшланговое (жесткое) устройство слива-налива	3×10^{-8}	3×10^{-7}
Шланг для слива-налива	4×10^{-6}	4×10^{-5}

Приложение N 5

Критерии поражения людей и разрушения технических устройств, зданий и сооружений при авариях на ОПО

При оценке последствий воздействия опасных факторов аварий на ОПО и для оценки степени возможного поражения людей и разрушения зданий, сооружений по вычисленным параметрам поражающих факторов могут использоваться как детерминированные (учитывающие только значение поражающих факторов), так и вероятностные критерии (по пробит-функции, характеризующей вероятность возникновения последствий определенного масштаба в зависимости от уровня воздействия).

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

Детерминированные критерии присваивают определенному значению негативного воздействия поражающего фактора конкретную степень поражения людей, разрушения зданий, инженерно-технических сооружений.

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

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

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

$$P_{nop} = f[Pr(D)] . \quad (5-1)$$

Связь вероятности поражения с пробит-функцией приведена в таблице N 5-1 приложения N 5 к Конспекту.

Связь вероятности поражения с пробит-функцией

$P, \%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

В общем случае пробит-функция имеет вид:

$$Pr = a + b \cdot \ln(D), \quad (5-2)$$

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

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

Критерии поражения тепловым излучением. Детерминированные критерии поражения тепловым излучением

При оценке воздействия теплового излучения основным критерием поражения является интенсивность теплового излучения. Детерминированные критерии поражения людей приведены в таблице N 5-2 приложения N 5 к Конспекту. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение интенсивности теплового излучения, превышающее $7,0 \text{ кВт/м}^2$.

Предельно допустимая интенсивность теплового излучения

Степень поражения	Интенсивность теплового 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 первой степени через 15-20 с Ожог второй степени через 30-40 с Воспламенение хлопка-волокна через 15 мин	7,0
Непереносимая боль через 3-5 с Ожог первой степени через 6-8 с Ожог второй степени через 12-16 с	10,5
Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12%) при длительности облучения 15 мин	12,9
Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганной поверхности; воспламенение фанеры	17,0
Сталь: деформация элементов конструкции	25
Сталь: разрушение элементов конструкции	100
Полипропилен: воспламенение	6,5
Полиэтилен: воспламенение	12,5
Экструдированный полиметилметакрилат: воспламенение	9,0
Экструдированный поливинилхлорид: воспламенение	15,0

Воздействие открытого пламени и тепловой радиации от пожара на технологическое оборудование, наружные установки оценивается по значению поглощенной дозы тепловой радиации, вычисляемой по формуле:

$$D_{\text{обор}} = q_{\text{об}} \cdot t, \quad (5-3)$$

где:

$q_{об}$ - величина теплового потока на единицу площади, кВт/м²;

t - длительность теплового воздействия, с.

Зависимость степени повреждения оборудования $k_{повр}$ от дозы поглощенной тепловой радиации $D_{обор}$ имеет вид:

$$k_{повр} = \begin{cases} 0 & \text{при } q_{об} < 12 \text{ кВт/м}^2; \\ 0,1 & \text{при } D_{обор} \leq D_{пор}; \\ 0,1 + 0,9 \cdot \frac{D_{обор} - D_{пор}}{D_{гиб} - D_{пор}} & \text{при } D_{пор} < D_{обор} < D_{гиб}; \\ 1 & \text{при } D_{обор} \geq D_{гиб}, \end{cases} \quad (5-4)$$

где:

$D_{пор}$ - пороговое значение дозы поглощенной тепловой радиации, кВт·с/м², ниже которого оборудование получает только слабые повреждения ($k_{повр} = 0,1$);

$D_{гиб}$ - значение дозы поглощенной тепловой радиации, кВт·с/м², выше которого оборудование считается полностью разрушенным. Значения $D_{пор}$ и $D_{гиб}$ для различных типов оборудования приведены в таблице N 5-3 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-3

Значения $D_{пор}$ и $D_{гиб}$ для оборудования разных классов чувствительности к воздействию тепловой радиации

Класс чувствительности оборудования	Тип оборудования	$D_{пор}$, кВт·с/м ²	$D_{гиб}$, кВт·с/м ²
I (высокочувствительное)	Расположенное вне укрытий сложное технологическое оборудование	3300	10000
II (среднечувствительное)	Оборудование в блок-контейнерах или индивидуальных укрытиях. Незащищенные крановые узлы, средства электрохимической защиты, контрольные пункты телемеханики, опоры ЛЭП и другое незащищенное технологическое оборудование с фланцевыми соединениями с чувствительными к нагреву материалами-уплотнителями	8300	25000

III (слабочувствительное)	Наземные трубопроводы, крановые узлы в защитном укрытии	35000	45000
------------------------------	---	-------	-------

Подземное технологическое оборудование принимается нечувствительным к термическому воздействию и при любой аварии считается неповрежденным ($k_{\text{повр}} = 0$).

Вероятностные критерии поражения тепловым излучением

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

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(D), \quad (5-5)$$

$$D = t \cdot q^{4/3} \quad (5-6)$$

Величина эффективного времени экспозиции t вычисляется по формулам:

а) для огненного шара:

$$t = 0,92 \cdot m^{0,303}, \quad (5-7)$$

б) для пожара, пролива или факела:

$$t = t_0 + \frac{x_0}{u_{\text{ср}}}, \quad (5-8)$$

где:

m - масса горючего вещества, участвующего в образовании огненного шара, кг;

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

x_0 - расстояние от места расположения человека до безопасной зоны (зона, где интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м^2), м;

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

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

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.

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

Критерии поражения ударной волной. Детерминированные критерии поражения ударной волной

При детерминированном подходе величина избыточного давления на фронте падающей

ударной волны принимается безопасной для человека $\Delta P_{\phi} = 5$ кПа. Воздействие на человека ударной волны с избыточным давлением на фронте $\Delta P_{\phi} > 120$ кПа рекомендуется принимать в качестве смертельного поражения. Для определения числа пострадавших рекомендуется принимать значение избыточного давления, превышающее 70 кПа.

Критерии повреждения типовых (среднестатистических) зданий приведены в таблице N 5-4 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-4

Критерии разрушения типовых промышленных зданий от избыточного давления

Степень поражения	Избыточное давление ΔP_{ϕ} , кПа
Полное разрушение зданий	Более 100
Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
Средние повреждения зданий, возможно восстановление здания	28
Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
Частичное разрушение остекления	Менее 2

Степень разрушения различных административных, производственных зданий и сооружений от воздействия избыточного давления ударной волны приведены в таблице N 5-5 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-5

Данные о степени разрушения производственных, административных зданий и сооружений, имеющих разную устойчивость

Тип зданий, сооружений	Разрушение при избыточном давлении на фронте ударной волны ΔP_{ϕ} , кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом	20-30	30-40	40-50	>50
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкции	10-20	25-35	35-45	>45
Складские кирпичные здания	10-20	20-30	30-40	>40

Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5-7	7-10	10-15	>15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25-35	80-120	150-200	>200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25-45	45-105	105-170	170-215
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10-15	15-25	25-35	35-45
Деревянные дома	6-8	8-12	12-20	>20
Подземные сети, трубопроводы	400-600	600-1000	1000-1500	1500
Трубопроводы наземные	20	50	130	-
Кабельные подземные линии	до 800	-	-	1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30	50	70	80
Резервуары и емкости стальные наземные	35	55	80	90
Подземные резервуары	40	75	150	200

Радиусы зон поражения могут быть определены численным решением уравнения:

$$k / (\Delta P(r) - P^*) = I(r) - I^*, \quad (5-9)$$

причем константы k , P^* , I^* зависят от характера зоны поражения и определяются из таблицы N 5-6 приложения N 5 к Конспекту, а функции $P(r)$ и $I(r)$ определяются согласно Конспекту по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей".

Таблица N 5-6

Константы для определения радиусов зон поражения при взрывах ТВС

Характеристика действия ударной волны	I^* , Па·с	P^* , Па	k , Па ² ·с
Разрушение зданий			
Полное разрушение зданий	770	70100	886100
Граница области сильных разрушений: 50-75% стен разрушено или находится на грани разрушения	520	34500	541000

Граница области значительных повреждений: повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку	300	14600	119200
Граница области минимальных повреждений: разрывы некоторых соединений, расчленение конструкций	100	3600	8950
Полное разрушение остекления	0	7000	0
50-процентное разрушение остекления	0	2500	0
10-процентное и более разрушение остекления	0	2000	0
Поражение органов дыхания незащищенных людей			
50-процентное выживание	440	243000	$1,44 - 10^8$
Порог выживания (при меньших значениях смертельные поражения людей маловероятны)	100	65900	$1,62 - 10^7$

Критерии разрушения (повреждения) элементов сооружений, чувствительных к действию максимального избыточного давления приведены в таблице N 5-7 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-7

Разрушение (повреждение) элементов сооружений, чувствительных к действию максимального избыточного давления (Δp_m - избыточное давление в падающей ударной волне)

Элементы сооружения	Характер разрушения (повреждения)	Δp_m , кПа
Типовое здание	Полное разрушение здания	>100
	Тяжелые повреждения, здание подлежит сносу	70
	Средние повреждения, возможно восстановление здания	28
	Разрушение оконных проемов, легкобрасываемых конструкций	14
	Частичное разрушение остекления	>2
Легкое железобетонное	Разрушение сооружения	210-245

наземное или заглубленное	Частичное разрушение сооружения	175-210
укрытие с грунтовой обсыпкой толщиной не менее 0,9 м (панели толщиной 5-7,5 см);	Деформация панелей, образование большого количества трещин, вдавливание внутрь отдельных панелей	100-175
балки расположены на расстоянии 1,2 м одна от другой	Образование трещин, возможно повреждение входной двери	70-100
Легкие сводчатые наземные сооружения из волнистых стальных панелей длиной 6-7,5 м, с толщиной грунтовой обсыпки над сводом 0,9 м	Полное разрушение	245-280
	Повреждение части свода со стороны, обращенной к взрыву	210-245
	Деформация торцовых стенок и свода; возможно повреждение входной двери	140-175
	Возможно повреждение вентиляционной системы и входной двери	70-100
Кирпичные стены толщиной 20-30,5 см (без усиления)	Разрушения, вызываемые деформацией среза и смещением	49-56
Бетонные или шлакобетонные стены толщиной 20-30,5 см (без усиления)	Разрушение стен	14-21
Легкое стеновое заполнение из волнистых асбестовых панелей	Разрушение	7-14
Панели из волнистой стали и алюминия	Нарушение соединений с последующей сильной деформацией	7-14
Стеновое заполнение из деревянных панелей (дома стандартной конструкции)	Нарушение соединений и срыв деревянных панелей	7-14
Окна (большие и малые)	Выбивание стекол; возможно разрушение оконных рам	3,5-7
Самолеты на земле	Полное разрушение	42
	Повреждения, при которых восстановление самолета экономически нецелесообразно	28

	Для восстановления самолета требуется капитальный ремонт	21
--	--	----

Условная вероятность травмирования и гибели людей, находящихся в зданиях, в зависимости от степени разрушения зданий от воздействия ударной волны определяется по таблице N 5-8 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-8

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

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

При отсутствии данных о типе и характеристиках зданий допускается принимать, что при давлении падающей УВ менее 5 кПа здание не разрушается и вероятность смертельного поражения УВ людей, находящихся внутри здания, равна нулю.

Вероятностные критерии

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

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

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln(V_1), \quad (5-10)$$

где:

$$V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3}, \quad (5-11)$$

где:

ΔP - избыточное давление, Па;

I - импульс, кг·м/с;

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

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \cdot \ln(V_2), \quad (5-12)$$

где:

$$V_2 = \left(\frac{40000}{\Delta P} \right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I} \right)^{11,3}. \quad (5-13)$$

На рисунке 5-1 приведена $P-I$ диаграмма, соответствующая различным значениям поражения зданий ударной волной при взрыве облака ТВС.

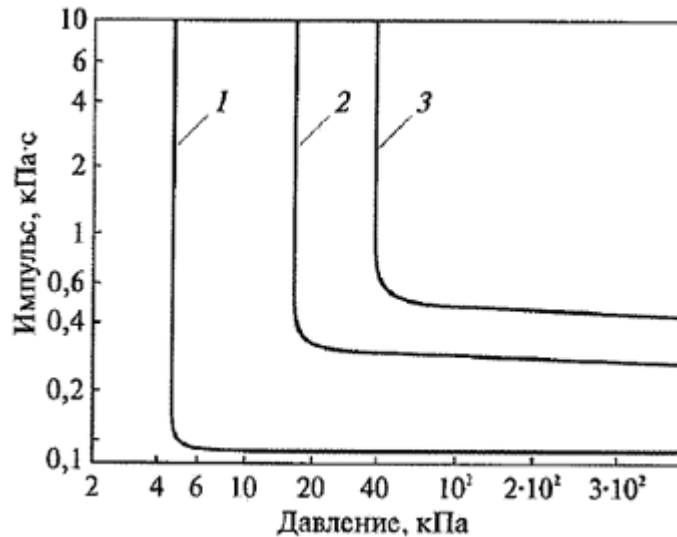


Рисунок 5-1. $P-I$ диаграмма для оценки уровня разрушения промышленных зданий:

1 - граница минимальных разрушений; 2 - граница значительных повреждений; 3 - разрушение зданий (50-75% стен разрушено)

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

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \cdot \ln(V_3), \quad (5-14)$$

где:

$$V_3 = \frac{4,2}{\bar{p}} + \frac{1,3}{\bar{i}}, \quad (5-15)$$

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{P_0}, \quad (5-16)$$

$$\bar{i} = \frac{I}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}}, \quad (5-17)$$

m - масса тела живого организма, кг;

P_0 - атмосферное давление, Па;

На рисунках 5-2 - 5-3 приложения N 5 к Конспекту приведены $P-I$ диаграммы, соответствующие различным значениям вероятности поражения людей, попавших в зону действия взрыва при прохождении УВ без отражения и с отражением соответственно.

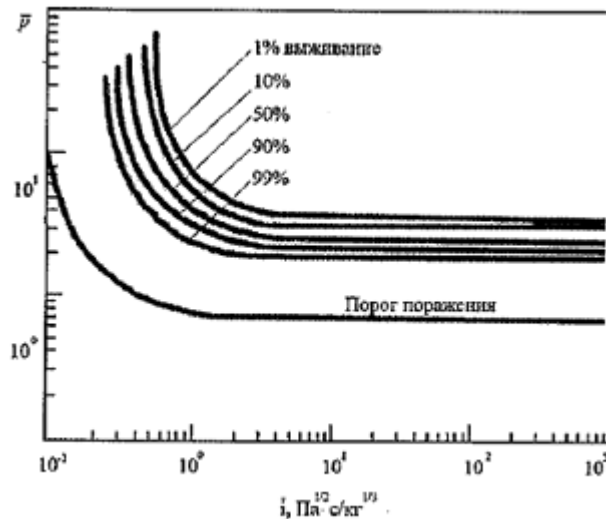


Рисунок 5-2. $P - I$ диаграмма для экспресс-оценки поражения людей от взрыва ТВС при прохождении УВ без ее отражения (человек находится на открытом пространстве, волна распространяется вдоль земли)

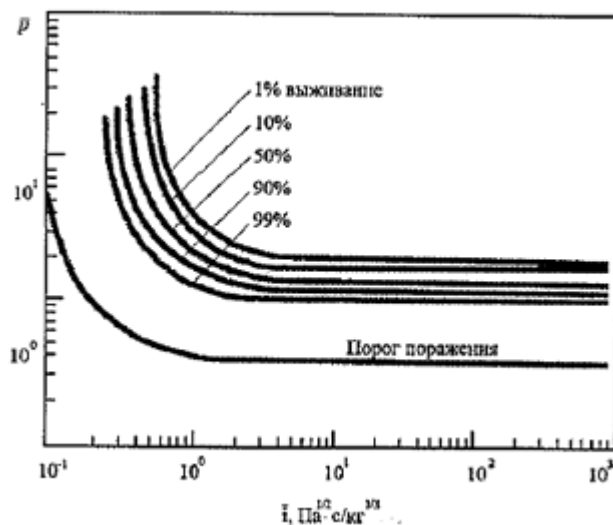


Рисунок 5-3. $P - I$ диаграмма для экспресс-оценки поражения людей от взрыва ТВС при прохождении УВ с отражением (человек находится на открытом пространстве, волна распространяется сверху к земле или человек находится у вертикальной отражающей поверхности, волна распространяется вдоль земли и отражается от вертикальной поверхности)

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

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \cdot \ln(\Delta P) ; \quad (5-18)$$

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

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \cdot \ln(V_5), \quad (5-19)$$

где:

$$V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^3}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I} \cdot \quad (5-20)$$

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

Критерии токсического поражения

Границы зон токсического поражения опасным веществом рассчитываются по смертельной и пороговой токсодозам при ингаляционном воздействии на организм человека либо по пробит-функциям.

Сравнением с пороговыми и смертельными токсодозами (таблица N 5-9 приложения N 5 к Конспекту) определяются расстояния, соответствующие смертельному поражению и пороговому воздействию.

Для оценки вероятности смертельного поражения человека используется пробит-функция, по которой с использованием таблицы N 5-9 приложения N 5 к Конспекту определяется вероятность смертельного поражения человека на открытом пространстве:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot T), \quad (5-21)$$

где:

C - концентрация токсичного вещества, ppm;

T - время воздействия токсического воздействия (время экспозиции) на человека, мин.

Таблица N 5-9

Свойства опасных веществ

Вещество	Пороговая токсодоза PCt_{50} , мг·мин/л	Смертельная токсодоза LCt_{50} , мг·мин/л	Коэффициенты при расчете пробит-функции		
			a	b	n
Аммиак	15,00	150,0	-35,90	1,850	2,00
Фтористый водород	4,00	40,0	-35,87	3,354	1,00
Хлористый водород	2,00	20,0	-16,85	2,000	1,00
Бромистый	2,40	24,0	-18,32	2,000	1,00

водород					
Цианистый водород	0,20	6,0	-9,56	1,000	2,40
Сероводород	1,00	15,0	-31,42	3,008	1,43
Сероуглерод	30,00	500,0	-46,62	4,200	1,00
Формальдегид	0,60	6,0	-12,24	1,300	2,00
Фосген	0,55	3,2	-19,27	3,686	1,00
Фтор	0,20	3,0	-10,34	1,000	2,00
Хлор	0,60	6,0	-8,29	0,920	2,00
Хлорциан	0,75	11,0	-	-	-
Оксись углерода	10,00	37,5	-37,98	3,700	1,00
Оксись этилена	2,20	25,0	-6,21	1,000	1,00
Бензол	60,00	250,0	-109,80	5,300	2,00
Диметиламин	1,00	-	-7,34	2,000	1,00
Акрилонитрил	-	-	-14,97	1,900	1,00
Акролеин	0,20	-	-9,93	2,049	1,00

При расчете воздействия токсических веществ на человека рекомендуется учитывать возможность укрытия, например, в здании, наличия системы оповещения, возможности эвакуации, а также применения средств индивидуальной защиты.

Критерии разрушения оборудования и эскалации аварий на ОПО

Критерии повреждения отдельных категорий промышленного оборудования ударной волной и тепловым излучением приведены в таблицах N 5-10 - 5-11 приложения N 5 к Конспекту.

Таблица N 5-10

Критерии повреждения ударной волной различных категорий оборудования

Категория оборудования	Пороговое воздействие, кПа	Пробит-функции, Pr
Резервуары	22	$Pr = -18,96 + 2,44 \cdot \ln(Ps)$

Сосуды под давлением	16	$Pr = -42,44 + 4,33 \cdot \ln(P_s)$
Протяженное оборудование	31	$Pr = -28,07 + 3,16 \cdot \ln(P_s)$
Малогабаритное оборудование	37	$Pr = -17,79 + 2,18 \cdot \ln(P_s)$
Примечание: P_s - избыточное давление на фронте волны, Па		

Таблица N 5-11

Критерии повреждения тепловым излучением различных категорий оборудования

Категория оборудования	Пороговое воздействие	Пробит-функции, Pr
Резервуары	15 кВт/м ² $t \geq 10$ мин	$Pr = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -1,128 \cdot \ln(q) - 2,667 \cdot 10^{-5} \cdot V + 9,887$
Сосуды под давлением	50 кВт/м ² $t \geq 10$ мин	$Pr = 12,54 - 1,847 \cdot \ln(ttf)$ $\ln(ttf) = -0,947 \cdot \ln(q) + 8,835 \cdot V^{0,032}$
Примечание ttf - время до разрушения, с; : V - объем резервуара/сосуда, м ³ ; q - интенсивность теплового излучения, кВт/м ² .		

Приложение N 6

Основные рекомендуемые способы установления степени опасности аварий на ОПО и определения наиболее аварийно-опасных составных частей ОПО

Установление степени опасности аварий на ОПО и определение наиболее аварийно-опасных составных частей ОПО используют при необходимости для ранжирования анализируемых объектов и разработки обоснованных рекомендаций по снижению риска аварий на ОПО. При этом под степенью опасности аварий (степенью аварийной опасности) понимается сравнительная мера опасности, характеризующая относительную возможность возникновения и тяжесть последствий аварий на ОПО и (или) его составных частях.

К основным способам установления степени опасности аварий на ОПО и определения

наиболее аварийно-опасных составных частей ОПО относятся:

- а) сравнение рассчитанных значений показателей риска со значениями на других составных частях ОПО и ранжирование составных частей ОПО по степени опасности аварий;
- б) сравнение рассчитанных значений показателей риска с допустимым риском аварий и (или) обоснованным на этапе планирования и организации анализа уровнем риска аварий;
- в) сравнение рассчитанных значений показателей риска с фоновым риском аварий для данного типа ОПО или аналогичных ОПО, с фоновым риском гибели людей в техногенных происшествиях;
- г) сравнение рассчитанных показателей риска аварий со значениями риска аварий, полученными с учетом фактических отступлений от требований промышленной безопасности и возможного, и фактического внедрения компенсирующих мероприятий;
- д) категорирование ОПО по критериям классификации аварийной опасности.

Ранжирование участков линейных ОПО и составных частей площадочных ОПО по основным опасностям аварий осуществляется для однотипных участков и составных частей ОПО по характерным для них показателям опасности.

На основе ранжирования участков и составных частей ОПО по рассчитанным количественным показателям риска устанавливают относительную степень опасности участков и составных частей ОПО.

Пример установления относительной степени опасности и ранжирования участков линейного ОПО по интервалу изменения значений характерного показателя риска, рассчитанных для участков всей трассы при количественной оценке риска аварии $\{R_{\min}, R_{\max}\}$, приведен в таблице N 6-1 приложения N 6 к Конспекту.

Таблица N 6-1

**Пример ранжирования участков линейного ОПО по интервалу изменения
рассчитанного характерного показателя риска $\{R_{\min}, R_{\max}\}$**

Сравнительная степень опасности аварий	Значение рассчитанного показателя риска R
Малая	Менее $R_{\min} + 0,3 \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Средняя	$R_{\min} + (0,3 \div 0,8) \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Высокая	$R_{\min} + (0,8 \div 0,97) \cdot (R_{\max} - R_{\min})$
Чрезвычайно высокая	Более $R_{\min} + 0,97 \cdot (R_{\max} - R_{\min})$

Опасность аварий на составных частях ОПО может также устанавливаться относительным сравнением с фоновым риском аварии за определенный период (5-10 лет) в соответствии с таблицей N 6-2 приложения N 6 к Конспекту.

Таблица N 6-2

**Пример ранжирования участков линейного ОПО по сравнению со среднеотраслевым
фоновым риском аварий за последние 5 лет ($R_{5 \text{ лет}}$)**

Сравнительная степень опасности аварий на участке линейного ОПО	Значение рассчитанного показателя риска R
Малая	Менее $0,5 \cdot R_{5 \text{ лет}}$
Средняя	$(0,5 - 5,0) \cdot R_{5 \text{ лет}}$
Высокая	$(5 - 50) \cdot R_{5 \text{ лет}}$
Чрезвычайно высокая	Более $50 \cdot R_{5 \text{ лет}}$

При наличии установленных значений допустимого риска аварии на основе ранжирования участков и составных частей ОПО по рассчитанным показателям риска определяются недопустимо опасные участки и составные части линейных и площадочных ОПО, дальнейшая эксплуатация которых переводит возможную аварийную опасность в непосредственную угрозу возникновения аварии на ОПО.

Недопустимая аварийная опасность участков и составных частей линейных и площадочных ОПО определяется, если рассчитанные значения показателей риска превышают допустимый риск аварий.

Аналогичное сравнение может проводиться и с требуемым уровнем опасности, который обосновывается отдельно для различных классов опасности ОПО с учетом критериев степени опасности составных частей ОПО, уровней допустимого и фонового рисков аварий.

При необходимости может проводиться категорирование аварийной опасности ОПО, основанное на результатах расчета максимальных масштабов последствий аварий. Пример критериев и классификации ОПО, основанный на результатах оценки риска аварий и учитывающей масштабы последствий возможных аварий, представлен в таблице N 6-3 приложения N 6 к Конспекту.

Таблица N 6-3

Пример категорирования ОПО по уровню риска аварии

Категори я опасност и	Наименование показателя и значения критериев аварийной опасности производственных объектов по уровню риска аварии									
	ОПО по уровню риска аварии	Наличие третьих лиц в зонах смертель- ного поражения	Количе- ство человек, у которых могут	Возмо- жное число погиб- ших при	Услов- ная вероя- тность эска- лации	Крат- ность превы- шения индиви- дуаль-	Услов- ная вероят- ность гибели при	Возможный аварийный разлив нефти и нефтепродуктов, т		Возмо- жный матери- альный ущерб при
								На мест- ности и	В море	

	при наиболее опасном по послед- ствиям сценарии аварии (далее - НОА)	быть нару- шены условия жизне- деятель- ности при НОА	НОА	аварии	ного риска гибели персо- нала от аварий по сравне- нию со средне- отрас- левым уровнем	аварии более 10 чело- век из числа тре- тьих лиц	во внутрен- них пресно- водных водо- емах		НОА, млн руб.
Чрезвы- чайно высокий риск аварии	Населенны е пункты или места массового скопления людей	Более 1500	Более 50	Более 0,5	Более 10	Более 0,1	Более 1000	Более 5000	Более 500
Высокий риск аварии	Транспорт- ные магистрали	От 300 до 1500	От 10 до 50	0,2-0,5	1-10	0,01- 0,1	500-1000	1000- 5000	50-500
Средний риск аварии	Постоянно находятся третьи лица	От 75 до 300	От 5 до 10	0,05- 0,2	0,1-1	0,001- 0,01	100-500	500- 1000	10-50
Малый риск аварии	Эпизоди- чески находятся третьи лица	До 75	До 5	Менее 0,05	Менее 0,1	Менее 0,001	До 100	До 500	Менее 10

Приложение N 7

Таблица N 7-1

Дополнительные показатели риска

Обозначение показателя риска		Наименование	Единица измерения
Линейные объекты	Площадочные объекты		
Λ_{MH}	P_A	Интенсивность аварий/частота	год ⁻¹

		разгерметизации оборудования	
Λ_{1000}	-	Удельная интенсивность аварий	1/(1000 км·год)
-	$P_{\text{Эф}}$	Частота возникновения аварий, связанных с возникновением поражающего эффекта (взрыв, пожар или огненный шар)	год ⁻¹
M_A	-	Средняя масса утечек опасных веществ при аварии	тонн
$\overline{m_A}$	m_A, m_a	Средняя масса потерь опасных веществ/средняя масса потерь опасных веществ при наиболее опасном и наиболее вероятном сценарии аварии	тонн
R_m	R_m	Ожидаемая масса потерь опасных веществ при аварии	т/год
R_{m1000}	-	Удельные ожидаемые потери опасных веществ при аварии	т/(1000 км·год)
$\overline{Y_A}$	Y_A, Y_a	Средний размер ущерба/средний размер ущерба при наиболее опасном и наиболее вероятном сценарии аварии	тыс.руб.
$R_{HC1} / R_{HC10} / R_{HC50}$	$R_{HC1} / R_{HC10} / R_{HC50}$	Частота гибели 1/10/50 и более человек при авариях (интенсивность возникновения крупных аварий с групповыми смертельными несчастными случаями)	год ⁻¹
-	$N(N_z) / n(n_z)$	Возможное число потерпевших (в том числе погибших) при наиболее опасном (наиболее вероятном) сценарии аварии (в том числе среди персонала, населения и иных физических лиц)	чел.
МВКП _л	МВКП _п	Максимально возможное количество потерпевших (в том числе погибших) при авариях	чел.

Краткая характеристика рекомендуемых методов анализа риска аварий

Рекомендуется использовать следующие методы анализа риска аварий:

1. Метод "Проверочного листа"¹ и метод "Что будет, если...?"².

¹ "Check-List" - здесь и далее в сносках данного приложения приводятся оригинальное английское наименование и аббревиатура зарубежного аналога метода.

² "What - If".

2. Метод "Идентификация опасностей технологического объекта", далее - метод "Идентификация опасностей"³.

³ "HAZID" - HAZard Identification или "PHA" - Preliminary Hazard Analysis.

3. Метод "Анализ вида и последствий отказов" и метод "Анализа вида, последствий и критичности отказа"⁴.

⁴ "FMECA" - Failure Mode, Effects and Critical Analysis.

4. Метод "Анализ опасности и работоспособности технологической системы (технологического блока)", далее - метод "Анализ опасности и работоспособности"⁵.

⁵ "HAZOP" - HAZard and OPerability Study.

5. Метод "Анализ дерева отказов"⁶.

⁶ "FTA" - Fault Tree Analysis.

6. Метод "Анализ дерева событий"⁷.

⁷ "ETA" - Event Tree Analysis.

7. Метод "Анализ мер безопасности".

8. Количественная оценка риска аварий⁸.

⁸ "QRA" - Quantitative Risk Assessment.

Ниже представлена краткая характеристика рекомендуемых методов анализа риска аварий.

1. Метод "Проверочного листа" и метод "Что будет, если...?" относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации ОПО требованиям промышленной безопасности.

Результатом применения метода "Проверочного листа" является составление перечня вопросов и ответов о соответствии анализируемого объекта требованиям промышленной безопасности с указанием мер по их обеспечению. Метод "Проверочного листа" отличается от метода "Что будет, если...?" более обширным представлением исходной информации и

дополнением результатами о последствиях нарушений требований безопасности.

Эти методы наиболее просты, сопровождаются вспомогательными формами и унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов, не очень трудоемки, поскольку результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня, и наиболее эффективны при исследовании ОПО с типовой технологией, в том числе при аудите промышленной безопасности.

2. Метод "Идентификация опасностей" является качественным методом анализа опасностей технологических процессов, цель которого состоит в идентификации основных опасностей, опасных факторов и событий, способных нарушить эксплуатацию или нанести вред данному виду деятельности или всей технологической системе ОПО в целом.

Метод "Идентификация опасностей" рекомендуется выполнять на ранних стадиях разработки проектной документации в условиях недостатка или неполноты информации. Основными задачами метода являются:

выявление источников опасностей и определение последствий их реализации посредством анализа ОПО и его составных частей с учетом особенностей технологии ОПО, инфраструктуры, площадки размещения ОПО, окружающей местности и расположения иных объектов;

описание выявленных опасностей и рекомендаций для использования их в последующих работах по анализу риска аварий;

выдача рекомендаций в целях дальнейшего их использования при выполнении проектных работ на последующих стадиях, позволяющих устранить или смягчить воздействие опасных факторов на персонал, население, окружающую среду и технологическое оборудование.

При использовании метода "Идентификация опасностей" рекомендуется рассматривать следующие опасности (опасные факторы):

а) внешние воздействия (стихийные бедствия и других факторы окружающей среды, антропогенные риски, инфраструктурные риски, опасности соседних объектов);

б) внутренние опасности (пожаро- и взрывоопасность, опасные технологические факторы, методы (принципы) контроля, вспомогательные инженерные системы, факторы технического обслуживания и ремонта);

в) опасности, связанные с персоналом (подбор, обучение и тренинг персонала, риск заболеваний, факторы опасности социального характера).

Рекомендуется составлять и уточнять перечень опасностей с учетом специфики ОПО. Результаты применения метода "Идентификация опасностей" оформляются в виде таблицы, в которой указывают опасные факторы, возможные опасности, объект воздействия, меры защиты и экспертную оценку приоритета (риска) каждой опасности. Пример представлен в таблице N 8-1 приложения N 8 к Конспекту. Приоритет рассмотрения опасности (уровень риска) устанавливается с учетом применения матрицы "частота - тяжесть последствий" по упрощенной шкале: 1 - высокий (выше допустимого) риск; 2 - средний риск; 3 - низкий риск.

Метод "Идентификация опасностей"
(фрагменты рабочей таблицы)

Название проекта: газотранспортный терминал

Название этапа: начальный этап проектирования

Группа: специалисты компаний АИНПР, НИИТП

Дата совещания: 08.04.2020

Председатель группы: Иванов И.И.

№ п/п	Опасный фактор (справочное слово)	Опасные события	Последствия	Профилактические мероприятия (меры защиты)	Приоритет (риск)	Примечание
I. Внешние воздействия						
1.	Категория: опасности стихийных бедствий и вредных факторов окружающей среды					
1.1.	Экстремальный климатический					
	Высокая и низкая температура	Потеря рабочих характеристик смазочных материалов, частей аппаратуры, образование пробок в линиях	Отказ оборудования, авария. Поражение, травмирование персонала. Материальный ущерб. Экономические потери	Выбор материалов, проработка стратегии технического обслуживания. Климатизация помещений, теплоизоляция оборудования, обогрев боксов.	2	Проработать вопрос климатологии блок-боксов: инженерные решения по теплоизоляции оборудования и трубопроводов отопления

		сброса газа. Разгерметизация трубопроводов и оборудования, выброс газа		Укрытие от воздействия прямых солнечных лучей. Обогрев трубопроводов теплоспутниками		
2.	Категория: воздействие технологической системы терминала на окружающую местность					
2.1.	Географическое расположение, инфраструктура	Выброс опасных веществ в окружающую среду. Воздействие поражающих факторов аварии на объекты инфраструктуры	Загрязнение окружающей среды. Поражение персонала и населения. Материальный ущерб и экономические потери на других объектах инфраструктуры	Предусмотрено размещение терминала с учетом удаленности от объектов производственной и непроизводственной сферы и вне зон негативного воздействия на объекты окружающей среды	3	
II. Опасности на объекте (технологические риски)						
3.	Категория: опасные технологические факторы					
3.1.	Чрезмерный уровень	Переполнение дренажной емкости и сепаратора в	Остановка технологического процесса. Нарушения подачи продукции потребителю. Экономические потери	Использованы уровнемеры автоматического (с дистанционной сигнализацией) и визуального контроля	2	Рассмотреть вопрос защиты оборудования от переполнения во время АОР (HAZOP)
4.	Категория: опасные факторы технического обслуживания					
4.1.	Необходимость	Отказ оборудования	Нарушения подачи продукции	Проектными решениями	2	

	блокировки · Требуемые байпасы	вания	потребителю. Экономические потери	предусмотрен ы автоматически е блокировки и байпасные линии, обеспечи- вающие безостано- вочную подачу газа потребителям		
III. Опасности, связанные с персоналом						
5.	Категория: опасности для здоровья					
5.1.	Токсиче- ские, физические , другие опасные факторы производст- - венной среды	Заболе- вание персонала на производст- венном объекте	Нетрудоспособнос- ть персонала. Нарушения технологического процесса. Экономические потери	Использование сертифициро- ванного оборудования и средств индивидуальн ой защиты, подготовка и обучение персонала	3	

3. Метод "Анализ вида и последствий отказов" (далее - метод АВПО) применяется для качественного анализа опасностей отказов технических устройств в рассматриваемой технологической системе. Методом АВПО рассматриваются вид и причины отказа технических устройств, последствия воздействия отказа на технологическую систему ОПО и (или) составную часть ОПО.

Метод АВПО может быть расширен до полуколичественного метода "Анализ вида, последствий и критичности отказа" (далее - метод АВПКО). В этом случае, а также, при необходимости, при применении иного полуколичественного метода оценки риска, рекомендуется каждый вид отказа (или иного опасного события) ранжировать с учетом двух аспектов критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа, уровни которых определяют приоритетность мер безопасности.

В таблице N 8-2 приложения N 8 к Конспекту приведен пример матрицы "частота - тяжесть последствий", в которой буквенными индексами обозначены четыре уровня:

- "А" - риск выше допустимого, требуется разработка дополнительных мер безопасности;
- "В" - риск ниже допустимого при принятии дополнительных мер безопасности;
- "С" - риск ниже допустимого при осуществлении контроля принятых мер безопасности;
- "Д" - риск пренебрежимо мал, анализ и принятие дополнительных мер безопасности не требуется.

Матрица "частота - тяжесть последствий"

Частота возникновения событий, год ⁻¹		Тяжесть последствий событий			
		Катастрофическое событие	Критическое событие	Некритическое событие	Событие с пренебрежимо малыми последствиями
Частое событие	>1	A	A	A	C
Вероятное событие	1-10 ⁻²	A	A	B	C
Возможное событие	10 ⁻² -10 ⁻⁴	A	B	B	C
Редкое событие	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶	A	B	C	
Практически невероятное событие	<10 ⁻⁶	B	C	C	

Рекомендуемая градация событий по тяжести последствий:

катастрофическое событие - приводит к нескольким смертельным исходам для персонала, полной потере объекта, невозможному ущербу окружающей среде;

критическое событие - угрожает жизни людей, приводит к существенному ущербу имуществу и окружающей среде;

некритическое событие - не угрожает жизни людей, возможны отдельные случаи травмирования людей, не приводит к существенному ущербу имуществу или окружающей среды;

событие с пренебрежимо малыми последствиями - событие, не относящееся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

Оценка частоты возникновения событий с определенными негативными последствиями проводится экспертно на основе данных по эксплуатации или с применением метода "Анализ дерева событий".

Результаты применения метода АВПКО рекомендуется оформлять в виде таблиц, содержащих перечень оборудования, вид и причины возможных отказов, частоту, последствия, критичность, средства обнаружения неисправности (например, сигнализаторы, приборы контроля) и рекомендации по уменьшению опасности. Ранжирование отказов или иных событий по критериям вероятности - тяжести последствий рекомендуется проводить с учетом специфики каждого технического устройства.

Работы с применением методов АВПО, АВПКО рекомендуется выполнять группой специалистов из 3-7 человек, включая инженеров-технологов, инженеров-механиков, специалистов по контрольно-измерительным приборам и автоматике (далее - КИПиА), в течение нескольких дней или недель.

4. Метод "Анализ опасностей и работоспособности" (далее - метод АОР) является качественным методом и предназначен для исследования опасностей отклонений технологических параметров (например, температуры, давления) и иных процедур (например, технического обслуживания) от регламентных режимов.

Рекомендуется применять метод АОР:

для ОПО или его составных частей с высоким уровнем капитальных затрат и сложности, с применением новых технологий;

при разработке проектной документации на строительство, реконструкцию ОПО, документации на техническое перевооружение ОПО I и II классов опасности;

при разработке обоснования безопасности ОПО;

после аварий (инцидентов) на ОПО в целях проведения детального исследования используемой технологии, оборудования и систем автоматизации технологического процесса, выявления нарушений требований безопасности и достаточности предусмотренных мер защиты.

Для организации работ с применением метода АОР рекомендуется привлекать экспертную организацию, имеющую опыт выполнения таких работ, и экспертов, аттестованных в области, связанной с анализом риска аварий. Работы с применением метода АОР рекомендуется выполнять группой специалистов из 5-10 человек, включая проектировщиков, инженеров-технологов, инженеров-механиков, специалистов автоматизированных систем управления технологическими процессами и КИПиА, специалистов по промышленной и пожарной безопасности, представителей заказчика и эксплуатирующей организации, под Конспектом представителя независимой экспертной организации.

Метод АОР основан на систематизированном применении ключевых (управляющих) слов-комбинаций технологических параметров ("давление", "температура", "техническое обслуживание") и их отклонений ("нет", "больше", "меньше") для каждого узла (составной части ОПО) с использованием технологических схем и схем КИПиА. При этом для каждого узла определяется критичность отклонений, в случае недостаточности или отсутствия мер защиты вырабатываются рекомендации, устанавливаются сроки их выполнения и приоритет.

Рекомендуется применять следующие категории критичности отклонений:

высокая - запрещается переходить на следующую стадию проекта, не выполнив рекомендации высокой категории критичности;

средняя - рекомендация среднего уровня должна быть выполнена до начала пусконаладочных работ;

низкая - рекомендация должна быть выполнена до начала эксплуатации.

При выработке рекомендаций учитывают влияние отклонений на:

безопасность (то есть отклонение может привести к аварии, поражению людей или инциденту);

окружающую среду (утечка, выброс опасных веществ, загрязнение);

эксплуатацию (нарушение технологического режима, остановка производства, убытки предприятия).

Результаты применения метода АОР рекомендуется оформлять в виде отчета, в котором указывается состав участников совещаний, на которых проводился анализ, ответственных за рассмотрение рекомендаций, описывается методология анализа опасностей, приводятся описание анализируемого объекта, возможные причины и последствия отклонений, а также меры защиты и рекомендации по уменьшению опасности или проведению дополнительных исследований.

В таблице N 8-3 приложения N 8 к Конспекту представлен фрагмент рабочей таблицы для резервуарного парка хранения широкой фракции легких углеводородов.

**Фрагмент рабочей таблицы метода АОР для резервуарного парка хранения ШФЛУ
(фрагмент результатов)**

№ п/п	Ключевое слово	Причина	Последствия	Меры защиты	Рекомендации	Ответственный	Критичность
1.	ПОТОК УВЕЛИЧЕНИЕ	Увеличение потока при аварийной разгерметизации трубопровода от резервуара(ов) до насосной	Безопасность: авария. Окружающая среда: загрязнение. Эксплуатация: простой, потери	Предусмотрена остановка насосов по загазованности в насосной. По периметру каре установлены датчики загазованности, установлены камеры видеонаблюдения на площадках обслуживания на эстакаде	Регламентом, ПЛА, рабочими инструкциями определить действия обслуживающего персонала при обнаружении загазованности	Проектный институт, эксплуатирующая организация	НИЗКАЯ
2.	ПОТОК НЕТ	Отсутствие потока азота при закрытой арматуре (б/н) рядом с обратным клапаном	Безопасность: авария. Окружающая среда: загрязнение. Эксплуатация: остановка технологического процесса, потери	Уравнительная линия	Предусмотреть пломбирование в открытом состоянии арматуры (б/н) на линии подачи азота рядом с обратным клапаном	Проектный институт	СРЕДНЯЯ

№ п/п	Ключевое слово	Причина	Последствия	Меры защиты	Рекомендации	Ответственный	Критичность
3.	ПОТОК НЕТ	Отсутствие потока при замерзании клапана регулятора (PV022) на линии сброса давления на факельный коллектор от уравнительной линии	Безопасность: авария. Окружающая среда: загрязнение. Эксплуатация: потери продукции	Установлен ППК с давлением срабатывания 1,7 МПа. Мерс недостаточно	Предусмотреть обогрев клапана регулятора (PV022) на линии сброса давления на факельный коллектор от уравнительной линии	Проектный институт	СРЕДНЯЯ
4.	ДАВЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЕ	При увеличении давления в емкости система ПАЗ срабатывает раньше (отключение электрообогрева при 1,35 МПа, подача предупредительного (1,3 МПа) и аварийного (1,35 МПа) сигналов на АРМ оператора), чем клапан регулятор (PV022 - срабатывает при 1,4 МПа)	Безопасность: нет. Окружающая среда: нет. Эксплуатация: простой, потери	Нет	Определиться с критичностью давления при эксплуатации парка и с учетом критичности определить параметры срабатывания ПАЗ и ее воздействие на систему/ выдачу сигнала на сигнализацию	Проектный институт	СРЕДНЯЯ

№ п/п	Ключевое слово	Причина	Последствия	Меры защиты	Рекомендации	Ответственный	Критичность
5.	ДАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЕ	Снижение давления в резервуаре ниже давления паров при рабочих температурах	Безопасность: авария. Окружающая среда: загрязнение. Эксплуатация: простой, потери	Проектом предусмотрено наличие уравнильной линии и отключение насосной при достижении давления 0,25 МПа по сигналу от двух независимых датчиков. В соответствии с опросным листом на оборудование давление паров при рабочих температурах составляет от 0,3 до 1,0 МПа	Подтвердить уставку на отключение насосов по давлению. Рассмотреть необходимость введения корректировки уставки на отключение насосов по давлению с учетом температуры ШФЛУ или возможность ликвидации данного контура	Проектный институт	

Результаты применения метода АОР рекомендуется использовать при разработке систем противоаварийной автоматической защиты (далее - ПАЗ) и выборе ее элементов.

Для каждого опасного события, выявленного методом АОР (например, превышение давления в сосуде), для которого целесообразно его предотвращение с помощью системы ПАЗ (функция безопасности), рекомендуется определить требуемый уровень надежности⁹ соответствующего контура ПАЗ - цепи от устройств, инициирующих контур ПАЗ (датчик, параметрическое реле, кнопка аварийного останова), до исполнительных механизмов (привод запорного клапана, сбросное устройство, сборка отключения напряжения).

⁹ SIL - Safety Integrity Level.

Требования к контурам системы ПАЗ в зависимости от полученной величины уровня надежности приведены в таблице N 8-4 приложения N 8 к Конспекту.

Таблица N 8-4

Требования к контурам системы ПАЗ в зависимости от полученной величины уровня надежности

Требуемый уровень надежности контуров ПАЗ	Средняя вероятность отказа на запрос	Комментарии по применению ПАЗ
Выше 4	Менее 10^{-5}	Системы ПАЗ недостаточно. Требуется изменение проектных решений для снижения риска
4	10^{-5} и более, но менее 10^{-4}	Реализуется дорогостоящая система ПАЗ. Требуется экономическое обоснование или изменение проектных решений для снижения риска
3	10^{-4} и более, но	Реализуется система ПАЗ с учетом указанной

	менее 10^{-3}	средней вероятности отказа
2	10^{-3} и более, но менее 10^{-2}	Реализуется система ПАЗ с учетом указанной средней вероятности отказа
1	10^{-2} и более, но менее 10^{-1}	Реализуется система ПАЗ с учетом указанной средней вероятности отказа
Ниже 1	-	Реализация системы ПАЗ нецелесообразна

При определении уровня надежности рекомендуется учитывать результаты оценки риска, в том числе тяжесть последствий, вероятность предупреждения опасного события, частоту и длительность пребывания людей в опасной зоне, вероятность опасного события (частоты запросов, срабатывания).

При необходимости уменьшения требований к системам ПАЗ рекомендуется рассматривать использование дополнительных мер безопасности (сигнализация, предохранительные клапаны, мембраны, легкосбрасываемые панели, обвалование, огнезащитные покрытия, взрывоустойчивое исполнение здания).

5. Метод "Анализ дерева отказов" (далее - АДО) предназначен для качественного или количественного анализа комбинации отказов технических устройств, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к аварии на ОПО. Метод АДО используется для анализа возможных причин возникновения аварии и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий).

Дерево отказов представляет из себя логическую схему причинно-следственных закономерностей возникновения аварии, показывающую последовательность и сочетание различных событий (отказов, ошибок, нерасчетных внешних воздействий), возникновение которых может приводить к разгерметизации и последующей аварийной ситуации.

Структура дерева отказов включает одно головное событие (как правило, это авария и (или) инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибки, отказы, неблагоприятные внешние воздействия), образующих причинные цепи (сценарии аварий). 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 (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак "ИЛИ" означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

При анализе дерева отказа рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальные пропускное и отсечное сочетания соответственно).

Минимальные пропускные сочетания - это набор исходных событий, предпосылок, обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии).

Минимальные отсечные сочетания - набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не возникновения ни одного из составляющих этот набор событий.

Пример дерева отказов для сценария развития аварийной ситуации на химическом реакторе для оценки вероятности сброса опасных веществ в атмосферу через предохранительный клапан (далее - ПК) приведен на рисунке 8-1 приложения N 8 к Конспекту.

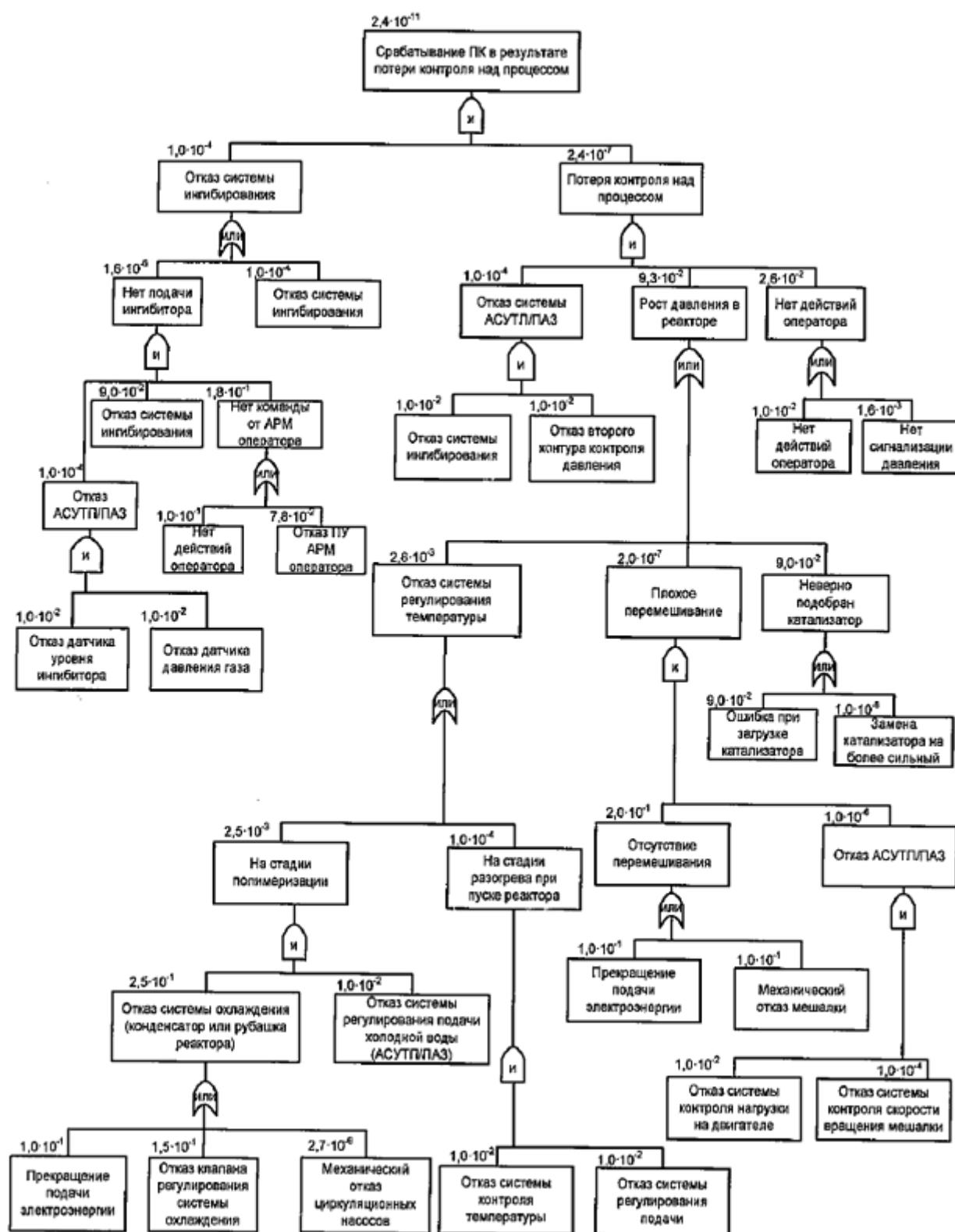


Рисунок 8-1. Пример дерева отказов для химических реакторов

Из приведенного дерева отказов следует, что для потери контроля над технологическим процессом и выброса опасного вещества в атмосферу с ПК должно произойти множество событий, основные из которых перечислены ниже.

Согласно дереву отказов для выброса опасного вещества необходим не только подъем давления в реакторе по причине отказа систем регулирования температуры и контроля перемешивания, нарушений при подготовке каталитической смеси, а также отказа автоматизированной системы управления технологическим процессом. Кроме этого, должен произойти отказ системы ингибирования, для чего должны произойти следующие события:

- недостаточно ингибитора из-за отказа датчиков уровня в емкости хранения ингибитора;
- недостаточное давление в системе азота из-за отказа системы регулирования давления;
- отказ системы ПАЗ;

непринятие или ошибочность действий оператором при поступлении сигнала о достижении максимально допустимого давления в реакторе.

В соответствии с расчетом вероятность потери контроля над процессом неконтролируемого роста давления с последующим срабатыванием ПК на одном реакторе указывает на пренебрежимо малый риск выброса опасных веществ в атмосферу при предусмотренных мерах безопасности.

6. Метод "Анализ дерева событий" (далее - АДС) - количественный или полуколичественный метод, включающий построение последовательности событий, исходящих из основного события, как правило, аварии на ОПО. Метод АДС используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Дерево событий представляет собой графическое отображение причинно-следственных закономерностей развития аварии по отдельным сценариям (например, аварии с разгерметизацией оборудования в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения взрывопожароопасного вещества). Частота каждого сценария развития аварии рассчитывается путем умножения частоты инициирующего события на условную вероятность конечного события.

Пример дерева событий при разрыве сосудов под давлением представлен на рисунке 8-2 приложения N 8 к Конспекту. На рисунке обозначена: исходная величина - частота разгерметизации, год^{-1} , на ветвях указаны условные вероятности промежуточных событий, крайние значения - частоты конечных событий, год^{-1} . Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

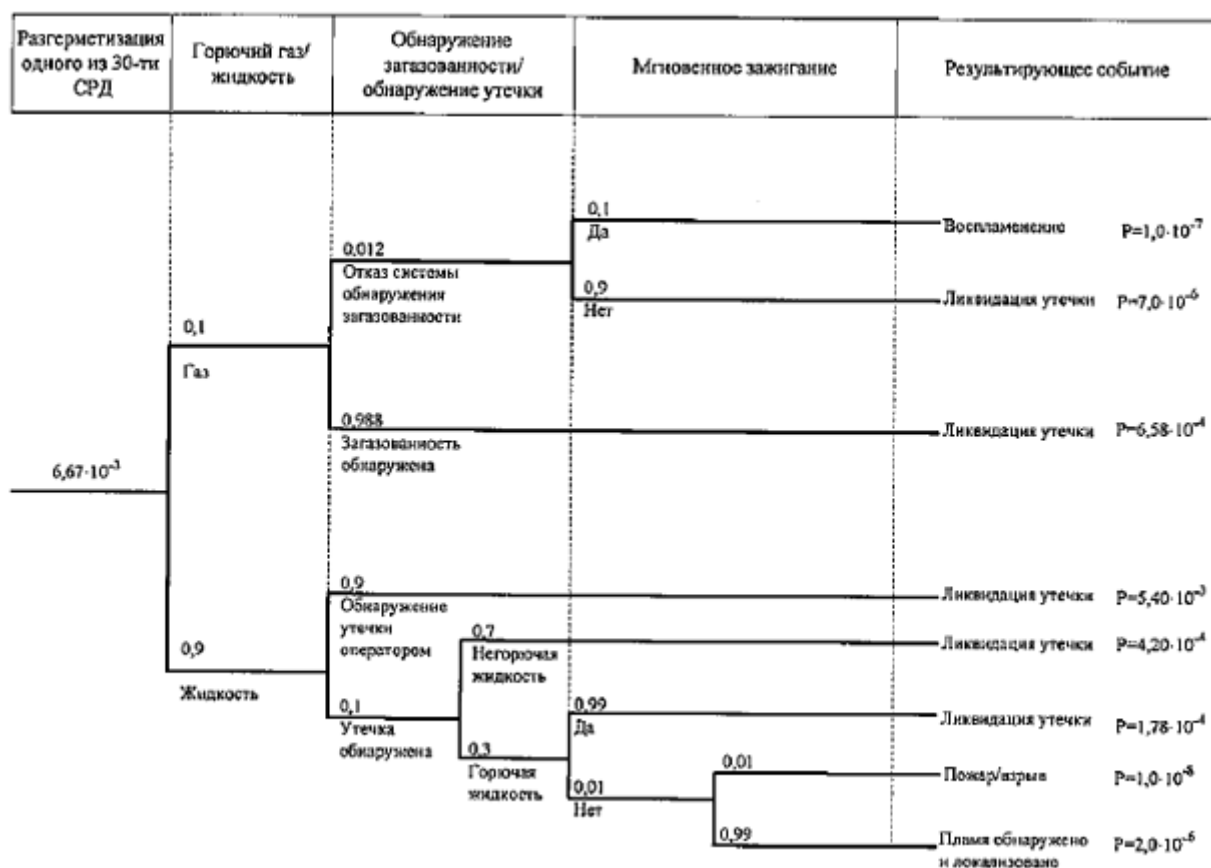


Рисунок 8-2. Пример дерева событий для случая разгерметизации сосудов, работающих под давлением

7. Метод "Анализ мер безопасности" (далее - АМБ) применяется в целях обоснования и оценки достаточности организационных, технических и организационно-технических мер (барьеров безопасности/слоев защиты), принятых для предотвращения, контроля и/или смягчения последствий аварий. Аналогом АМБ является метод "Анализ слоев защиты"¹⁰, часто используемый для обоснования требований надежности к системам ПАЗ.

¹⁰ LOPA - Layers of Protection Analysis.

Если АМБ используется в рамках разработки обоснования безопасности ОПО, то в качестве мер безопасности необходимо рассматривать мероприятия, компенсирующие отступления от требований промышленной безопасности или меры безопасности при введении новых (недостающих или отсутствующих) требований.

8. Количественная оценка риска (или количественный анализ риска) аварий (КОР) характеризуется расчетом показателей риска и может также включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Результаты КОР могут существенно зависеть от допущений используемых моделей аварийного процесса, выбора сценариев аварии и исходной информации, в том числе достоверности данных по частотам отказов и аварий, данных по надежности оборудования.

При оценке риска аварий с выбросами опасных веществ рекомендуется проанализировать последствия аварий для различных сценариев, в том числе:

аварий с наиболее тяжелыми последствиями - как наиболее неблагоприятного варианта развития аварии и, как правило, наименее вероятного. Такие сценарии характеризуются

частичным или полным (например, при образовании протяженной трещины) разрушением единичного емкостного оборудования с максимальным выбросом опасного вещества, а также с возможностью эскалации аварии на соседние установки объекта и достижения максимального ущерба и максимального количества пораженных;

наиболее вероятных 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 с разрывом технологических трубопроводов или частичным разрушением емкостного оборудования с утечкой опасных веществ из отверстий диаметром 10-30 мм и распространением опасных веществ при метеоусловиях, наиболее вероятных для данной местности.

Количественная оценка риска аварий позволяет оценивать и сравнивать различные опасности и ОПО по единым показателям и наиболее эффективна:

- на стадии проектирования и размещения ОПО;
- при обосновании и оптимизации мер безопасности;
- при оценке опасности крупных аварий на ОПО, имеющих однотипные технические устройства (например, магистральные трубопроводы);
- при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей среды.

На рисунках 8-3 - 8-4 приложения N 8 к Конспекту представлен пример результатов расчета показателей риска на магистральных нефтепроводах: распределение частоты аварии, риск загрязнения окружающей среды и материальных потерь нефти вдоль трассы магистрального нефтепровода, а также ранжирование ОПО по удельным материальным потерям нефти.

Дополнительно может использоваться материальный риск (или риск материальных потерь) как зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых причинен ущерб на определенном уровне потерь не менее G , от количества этих потерь G . Данный показатель характеризует экономическую тяжесть последствий реализации опасностей аварий и представляется в виде соответствующей F/G -кривой.

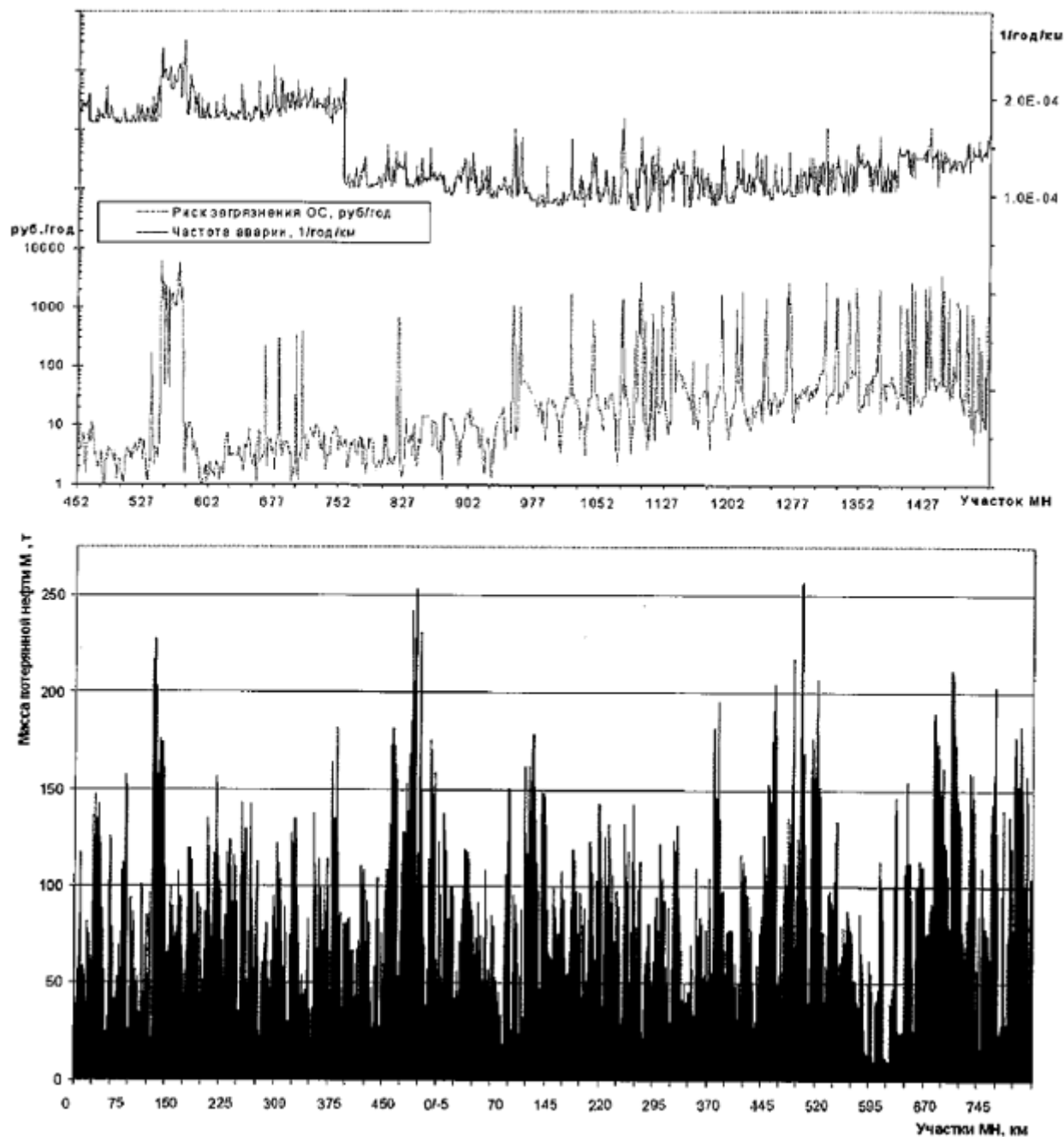


Рисунок 8-3. Пример распределения показателей риска по трассе магистрального нефтепровода (км) и ранжирования ОПО



Рисунок 8-4. Ранжирование ОПО по удельным материальным потерям нефти

Результаты КОР аварий могут быть использованы при обосновании условий страхования ответственности и планировании мер безопасности.

Соответствие результатов КОР критериям допустимого риска не является достаточным условием для отказа от выполнения требований промышленной безопасности.

9. Рекомендации по выбору методов анализа риска аварий для различных видов деятельности и основных стадий жизненного цикла ОПО представлены в таблице N 8-5 приложения N 8 к Конспекту.

В таблице N 8-5 к Конспекту приняты следующие обозначения:

"0" - наименее подходящий метод анализа;

"+" - рекомендуемый метод;

"++" - наиболее подходящий метод.

Методы анализа могут применяться отдельно или в различной комбинации, причем методы качественного анализа могут включать количественные критерии риска аварий (в основном полученные по экспертным оценкам с использованием, например, матрицы "частота - тяжесть последствий"). Рекомендуется при проведении количественной оценки риска аварий на ОПО использовать также качественные методы.

Таблица N 8-5

Рекомендации по выбору методов анализа риска аварий

Метод	Стадии жизненного цикла ОПО				
	Размещение ОПО (предпроектные работы)	Проектирование	Ввод/вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Консервация

Проверочный лист	+	+	+	++	+
Что будет, если...?	0	+	++	++	+
Идентификация опасностей	++	+	0	0	0
Анализ опасностей и работоспособности	+	++	+	+	0
Анализ видов и последствий отказов	+	++	+	+	0
Анализ деревьев отказов	0	++	+	+	0
Анализ деревьев событий	0	++	+	+	0
Анализ мер безопасности	+	++	+	+	+
Количественная оценка риска аварий	++	++	+	+	+