

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Тульский государственный университет

Институт горного дела и строительства
Кафедра охраны труда и окружающей среды

Утверждено на заседании кафедры
«Охрана труда и окружающей среды»
«24» января 2022 г., протокол №6

Заведующий кафедрой



В.М. Панарин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
«Мониторинг и прогнозирование безопасной
эксплуатации производств»**

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры**

по направлению подготовки
20.04.01 Техносферная безопасность

с направленностью (профилем)
Производственная безопасность


Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 200401-01-22

Тула 2022 год

Разработчик методических указаний

Маслова А.А., проф., докт.техн.наук, доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Общие рекомендации

Программа предусматривает проведение практических занятий. Работа на практических занятиях нацелена на закрепление теоретических знаний по материалу самостоятельно изученной теоретической литературы, дискуссии, а также развитие у студентов навыков самостоятельного исследования основных проблем науки в области производственной безопасности на основе обработки имеющихся данных с помощью применения современных методов и инструментов.

Целями проведения практических занятий по дисциплине «Мониторинг и прогнозирование безопасной эксплуатации производств» являются закрепление теоретического материала по самостоятельно изученной литературе в области обеспечения безопасности человека в современном мире, формирования комфортной для жизни и деятельности человека техносферы, минимизации техногенного воздействия на природную среду, сохранения жизни и здоровья человека за счет использования современных технических средств, методов контроля и прогнозирования.

Задачами проведения практических занятий являются:

- Закрепление теоретического материала при самостоятельном выполнении расчетных работ в области безопасности, планировании экспериментов, обработке, анализе и обобщении их результатов, математическом и машинном моделировании, построении прогнозов;
- Обсуждение при формулировании целей и задач научных исследований, направленных на повышение безопасности, создание новых методов и систем защиты человека и окружающей среды, определение плана, основных этапов исследований.

Практическая работа № 1

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКА В ПРОЦЕДУРЕ ДЕКЛАРИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы: Научиться проводить анализ и оценку риска ОПО в соответствии с требованиями, предъявляемыми Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору

Теоретические положения

Требования к процедуре проведения и оформления результатов анализа риска сформулированы в РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска на опасных производственных объектах.

Основные этапы анализа риска включают:

- планирование и организацию работ;
- идентификацию опасностей;
- оценку риска;
- разработку рекомендаций по уменьшению риска.

1. Этап планирования и организации работ

На этапе планирования и организации работ следует:

- определить анализируемый опасный производственный объект и дать его общее описание;
- описать причины и проблемы, которые вызвали необходимость проведения анализа риска;
- подобрать группу исполнителей для проведения анализа риска;
- определить и описать источники информации об опасном производственном объекте;
- указать ограничения исходных данных, финансовых ресурсов и другие обстоятельства, определяющие глубину, полноту и детальность проводимого анализа риска;
- четко определить цели и задачи проводимого анализа риска;
- обосновать используемые методы анализа риска;
- определить критерии приемлемого риска.

Для обеспечения качества анализа риска следует использовать знание закономерностей возникновения и развития аварий на опасных производственных объектах. Если существуют результаты анализа риска для подобного опасного производственного объекта или аналогичных технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, то их можно применять в качестве исходной информации. Однако при этом следует показать, что объекты и процессы подобны, а имеющиеся отличия не будут вносить значительных изменений в результаты анализа.

Цели и задачи анализа риска могут различаться и конкретизироваться на разных этапах жизненного цикла опасного производственного объекта.

Например, на этапе размещения (обоснования инвестиций или проведения предпроектных работ) или проектирования опасного производственного объекта целью анализа риска, как правило, является:

- выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал, население, имущество и окружающую природную среду;
- обеспечение учета результатов при анализе приемлемости предложенных решений и выборе оптимальных вариантов размещения опасного производственного объекта, применяемых технических устройств, зданий и сооружений опасного производственного объекта, включая особенности окружающей местности, расположение иных объектов и экономическую эффективность;
- обеспечение информацией для разработки инструкций, технологического регламента и планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;
- оценка альтернативных предложений по размещению опасного производственного объекта или техническим решениям.

На этапе ввода в эксплуатацию (вывода из эксплуатации) опасного производственного объекта целью анализа риска могут быть:

- выявление опасностей и оценка последствий аварий, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах функционирования опасного производственного объекта;
- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;
- разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию (выводу из эксплуатации).

На этапе эксплуатации или реконструкции опасного производственного объекта целью анализа риска может быть:

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;
- уточнение информации об основных опасностях и рисках (в том числе при декларировании промышленной безопасности);
- разработка рекомендаций по организации деятельности надзорных органов;
- совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;
- оценка эффекта изменения в организационных структурах, приемах практической работы и технического обслуживания в отношении совершенствования системы управления промышленной безопасностью.

Основой для **определения приемлемого риска** являются: нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области; сведения о происшедших авариях, инцидентах и их последствиях; опыт практической деятельности; социально-экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта.

2. Этап идентификации опасностей

Основные задачи этапа идентификации опасностей - выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации. Это ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

Для идентификации опасностей рекомендуется использовать один или несколько из перечисленных ниже методов анализа риска:

- "Что будет, если...?";
- проверочный лист;
- анализ опасности и работоспособности;
- анализ видов и последствий отказов;
- анализ "дерева отказов";
- анализ "дерева событий";
- соответствующие эквивалентные методы.

В результате идентификации опасностей получаем:

- перечень нежелательных событий;
- описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий (например, сценариев возможных аварий);
- предварительные оценки опасности и риска.

Идентификация опасностей завершается также выбором дальнейшего направления деятельности. В качестве вариантов дальнейших действий может быть:

- решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок (в этом случае под идентификацией опасностей подразумевается анализ или оценка опасностей);
- решение о проведении более детального анализа опасностей и оценки риска;
- выработка предварительных рекомендаций по уменьшению опасностей.

3. Этап оценки риска

Основные задачи этапа оценки риска:

- определение частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий;
- оценка последствий возникновения нежелательных событий;
- обобщение оценок риска.

Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать: статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности; логические методы анализа "деревьев собы-

тий", "деревьев отказов", имитационные модели возникновения аварий в человекомашинной системе; экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

Оценка последствий включает анализ возможных воздействий на людей, имущество и (или) окружающую природную среду. Для оценки последствий необходимо оценить физические эффекты нежелательных событий (отказы, разрушения технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ и т.д.), уточнить объекты, которые могут быть подвергнуты опасности. При анализе последствий аварий необходимо использовать модели аварийных процессов и критерии поражения, разрушения изучаемых объектов воздействия, учитывать ограничения применяемых моделей. Следует также учитывать и, по возможности, выявлять связь масштабов последствий с частотой их возникновения.

Обобщенная оценка риска (или степень риска) аварий должна отражать состояние промышленной безопасности с учетом показателей риска от всех нежелательных событий, которые могут произойти на опасном производственном объекте.

4. Этап анализа риска (заключительный): разработка рекомендаций по уменьшению риска

В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

Меры по уменьшению риска могут носить технический и (или) организационный характер. При выборе мер решающее значение имеет общая оценка действенности и надежности мер, оказывающих влияние на риск, а также размер затрат на их реализацию.

В большинстве случаев первоочередными мерами обеспечения безопасности, как правило, являются *меры предупреждения аварии*. Выбор планируемых для внедрения мер безопасности имеет следующие приоритеты:

1) меры по уменьшению вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие:

- меры по уменьшению вероятности возникновения инцидента,
- меры по уменьшению вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

2) меры по уменьшению тяжести последствий аварии, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты:

- меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры),
- меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов),
- меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

При необходимости обоснования и оценки эффективности предлагаемых мер по уменьшению риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

- при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;
- обеспечить снижение риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

Требования к оформлению результатов анализа риска

Результаты анализа риска должны быть обоснованы и оформлены таким образом, чтобы выполненные расчеты и выводы могли быть проверены и повторены специалистами, которые не участвовали при первоначальном анализе.

Процесс анализа риска следует документировать. Объем и форма отчета с результатами анализа зависят от целей проведенного анализа риска. В отчет рекомендуется включать:

- титульный лист;
- список исполнителей с указанием должностей, научных званий, названием организации;
- аннотацию;
- содержание (оглавление);
- задачи и цели проведенного анализа риска;
- описание анализируемого опасного производственного объекта;
- методологию анализа, исходные предположения и ограничения, определяющие пределы анализа риска;
- описание используемых методов анализа, моделей аварийных процессов и обоснование их применения;
- исходные данные и их источники, в том числе данные по аварийности и надежности оборудования;
- результаты идентификации опасности;
- результаты оценки риска;
- анализ неопределенностей результатов оценки риска;
- обобщение оценок риска, в том числе с указанием наиболее "слабых" мест;
- рекомендации по уменьшению риска;
- заключение;
- перечень используемых источников информации.

Показатели риска

Всесторонняя оценка риска аварий основывается на анализе причин (отказы технических устройств, ошибки персонала, внешние воздействия) возникновения и условий развития аварий, поражения производственного персонала, населения, причинения ущерба имуществу эксплуатирующей организации или третьим лицам, вредаокружающей природной среде.

Степень риска (или уровень риска) аварий на опасном производственном объекте, эксплуатация которого связана со множеством опасностей,

определяется на основе учета соответствующих показателей риска. В общем случае показатели риска выражаются в виде сочетания (комбинации) вероятности (или частоты) и тяжести последствий рассматриваемых нежелательных событий.

Ниже приведены краткие характеристики основных количественных показателей риска.

1. При анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств, выделяют *технический риск*, показатели которого определяются соответствующими методами теории надежности.

2. Одной из наиболее часто употребляющихся характеристик опасности является *индивидуальный риск* - это частота поражения отдельного индивидуума (человека) в результате воздействия исследуемых факторов опасности. В общем случае количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени.

При расчете распределения риска по территории вокруг объекта (картировании риска) индивидуальный риск определяется потенциальным территориальным риском (см. ниже) и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и готовностью индивидуума к действиям в опасной ситуации, его защищенностью.

Индивидуальный риск, как правило, следует определять не для каждого человека, а для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Рекомендуется оценивать индивидуальный риск отдельно для персонала объекта и для населения прилегающей территории или, при необходимости, для более узких групп, например для рабочих различных специальностей.

3. Другим комплексным показателем риска, характеризующим пространственное распределение опасности по объекту и близлежащей территории, является *потенциальный территориальный риск* - частота реализации поражающих факторов в рассматриваемой точке территории. Потенциальный территориальный, или потенциальный, риск не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что условная вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (т.е. человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с названием, выражает собой потенциал максимально возможной опасности для конкретных объектов воздействия (реципиентов), находящихся в данной точке пространства. Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска при крупных авариях. Распределения потенциального риска и населения в исследуемом районе позволяют полу-

чить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно рассчитать количество пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности и затем определить частоту событий F , при которой может пострадать на том или ином уровне N и более человек.

4. *Социальный риск* характеризует масштаб и вероятность (частоту) аварий и определяется функцией распределения потерь (ущерба), у которой есть установившееся название - F/N -кривая. В общем случае в зависимости от задач анализа под N можно понимать и общее число пострадавших, и число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий. Соответственно критерий приемлемого риска будет определяться уже не числом для отдельного события, а кривой, построенной для различных сценариев аварии с учетом их вероятности. В настоящее время общераспространенным подходом для определения приемлемости риска является использование двух кривых, когда, например, в логарифмических координатах определены F/N -кривые приемлемого и неприемлемого риска смертельного травмирования. Область между этими кривыми определяет промежуточную степень риска, вопрос о снижении которой следует решать, исходя из специфики производства и региональных условий.

5. Другой количественной интегральной мерой опасности объекта является *коллективный риск*, определяющий ожидаемое количество пострадавших в результате аварий на объекте за определенное время.

6. Для целей экономического регулирования промышленной безопасности и страхования важным является такой показатель риска, как статистически *ожидаемый ущерб* в стоимостных или натуральных показателях.

Методы анализа риска

1. Методы *проверочного листа* и *"Что будет, если...?"* или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности.

Результатом проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного листа отличается от *"Что будет, если...?"* более обширным представлением исходной информации и представлением результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

2. *Анализ видов и последствий отказов (АВПО)* применяется для *качественного анализа опасности* рассматриваемой технической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата

(установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему.

Анализ видов и последствий отказа можно расширить до количественного анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видов и причин возможных отказов, с частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности-тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики.

Ниже (табл. 1) в качестве примера приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т.п.), окружающая среда.

В табл. 1 применены следующие варианты критериев:

- критерии отказов по тяжести последствий: **катастрофический отказ** - приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде; **критический (некритический) отказ** - угрожает (не угрожает) жизни людей, приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде; **отказ с пренебрежимо малыми последствиями** - отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий;

- категории (критичность) отказов: **A** - обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности; **B** - желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности; **C** - рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности; **D** - анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются.

Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений. Выполняются группой специалистов различного профиля (например, специалистами по технологии, химическим процессам, инженером-механиком) из 3-7 чел. в течение нескольких дней, недель.

Таблица 1 Матрица "вероятность-тяжесть последствий"

Отказ	Частота возникновения отказа в год	Тяжесть последствий отказа			
		катастрофического	критического	некритического	с пренебрежимо малыми последствиями
Частый	>1	A	A	A	C
Вероятный	$1-10^{-2}$	A	A	B	C
Возможный	$10^{-2}-10^{-4}$	A	B	B	C
Редкий	$10^{-4}-10^{-6}$	A	B	C	D
Практически невероятный	$<10^{-6}$	B	C	C	D

3. Методом *анализа опасности и работоспособности* (АОР) исследуются опасности отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО.

В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения используются ключевые слова "нет", "больше", "меньше", "так же, как", "другой", "иначе, чем", "обратный" и т.п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Примерное содержание ключевых слов следующее: **"нет"** - отсутствие прямой подачи вещества, когда она должна быть; **"больше (меньше)"** - увеличение (уменьшение) значений режимных переменных по сравнению с заданными параметрами (температуры, давления, расхода); **"так же, как"** - появление дополнительных компонентов (воздух, вода, примеси); **"другой"** - состояние, отличающиеся от обычной работы (пуск, остановка, повышение производительности и т.д.); **"иначе, чем"** - полное изменение процесса, непредвиденное событие, разрушение, разгерметизация оборудования; **"обратный"** - логическая противоположность замыслу, появление обратного потока вещества.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности, отклонений может быть определена количественно - путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО (см. табл. 1).

Отметим, что метод АОР, так же как АВПКО, кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Недостатки методов связаны с затрудненностью их применения для анализа комбинаций событий, приводящих к аварии.

4. Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудо-

вания, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют *логику-графические методы анализа "деревьев отказов" и "деревьев событий"*.

При анализе *"деревьев отказов" (АДО)* выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящие к головному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе *"дерева отказа" (аварии)* рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальное пропускное и отсечное сочетания, соответственно).

Анализ "дерева событий" (АДС) - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). 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).

5. *Методы количественного анализа риска*, как правило, характеризуются расчетом нескольких показателей риска и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, выполнения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

Количественный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям, он наиболее эффективен:

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

6. *Рекомендации по выбору методов анализа риска* для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены в табл. 2.

Таблица 2 Рекомендации по выбору методов анализа риска

Метод	Вид деятельности				
	Размещение (предпроектные работы)	Проек тиров ание	Ввод/вывод из эксплуат ации	Эксп луат ация	Рекон струк ция
Анализ "Что будет, если...?"	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособности	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
Анализ деревьев отказов и событий	0	++	+	+	++
Количественный анализ риска	++	++	0	+	++

Приняты следующие обозначения: **0** - наименее подходящий метод анализа; **+** - рекомендуемый метод; **++** - наиболее подходящий метод.

Методы могут применяться изолированно или в дополнение друг к другу, причем методы качественного анализа могут включать количественные критерии риска (в основном, по экспертным оценкам с использованием, например, матрицы "вероятность-тяжесть последствий" ранжирования опасности). По возможности полный количественный анализ риска должен использовать результаты качественного анализа опасностей.

Порядок выполнения работы

- 1.Познакомиться с теоретическими положениями.
- 2.Для расчетов использовать собственные исходные данные по выбранному объекту экономики.
- 3.Проанализировать все возможные причины возникновения аварийной ситуации на заданном объекте экономики, принимая во внимание общие закономерности возникновения и развития происшествий.
- 4.Провести моделирование возможных исходов аварийных ситуаций, используя соответствующие графо-аналитические модели.
- 5.Выделить наиболее опасный и наиболее вероятный сценарии развития ситуации, обосновать свой выбор.
- 6.Оформить отчет.

Контрольные вопросы

- 1.Назовите количественные показатели риска, используемые в процедуре декларирования промышленной безопасности.

- 2.Цели анализа риска.
- 3.В чем заключается поэтапный анализ риска?
- 4.На каких стадиях жизненного цикла объекта применима процедура анализа риска?
- 5.Основные задачи этапа идентификации опасностей.

Практическая работа № 2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОН ПОВЫШЕННОГО РИСКА НА ПРИМЕРЕ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Цель занятия: научиться выявлять зоны опасные для персонала и населения при аварии на опасном производственном объекте и количественно их оценивать

Теоретические положения

Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях проводятся для заблаговременного принятия мер по предупреждению ЧС, смягчению их последствий, ликвидации последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий. В результате оценки определяют:

- Радиус зоны поражения;
- Степень ущерба материальным ресурсам;
- Степень травмирования людей;
- Вероятность причинения ущерба людям и материальным ресурсам.

При прогнозировании последствий опасных явлений используют детерминистскую и вероятностную модели. В **детерминистской модели** определенной величине негативного воздействия поражающего фактора соответствует вполне конкретная степень поражения людей и материальных ресурсов (инженерно-технических сооружений). Например, при детерминистском способе прогнозирования поражающий эффект ударной волны определяется избыточным давлением во фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$ (кПа), в зависимости от которого находится степень поражения людей и инженерно-технических сооружений. Этот подход отражают таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Зависимость степени поражения человека от избыточного давления во фронте ударной волны ($\Delta P_{\text{ф}}$ (кПа))

$\Delta P_{\text{ф}}$ (кПа)	<10	10-40	40-60	60-100	>100
Степень поражения человека	Безопасный уровень	Легкая (ушибы, повреждения слуха)	Средняя (кровоотечения, вывихи, сотрясения мозга)	Тяжелая (контузии, разрывы внутренних органов)	Смертельное поражение

При использовании **вероятностной модели** подход иной: при воздействии одной и той же дозы негативного воздействия предполагается, что поражающий эффект будет различен в зависимости от категории людей и типа материальных ресурсов. Другими словами, негативное воздействие поражающих факторов носит вероятностный характер.

Таблица 2

Зависимость степени разрушения зданий от избыточного давления во фронте ударной волны ($\Delta P_{\text{ф}}$ (кПа))

Объект	Разрушения*			
	полное	сильное	среднее	слабое
Здания жилые:				
Кирпичные многоэтажные	30-40	20-30	10-20	8-10
Кирпичные малоэтажные	35-45	25-35	15-25	8-15
Деревянные	20-30	12-20	8-12	6-8

* слабые разрушения – повреждения или разрушения крыш, окон, дверных проемов, ущерб 10-15% стоимости здания; средние разрушения – разрушения крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей, ущерб – 30-40%; сильные разрушения – разрушение несущих конструкций и перекрытий, ущерб – 50%, ремонт нецелесообразен; полное разрушение – обрушение зданий.

При использовании **вероятностной модели** подход иной: при воздействии одной и той же дозы негативного воздействия предполагается, что поражающий эффект будет различен в зависимости от категории людей и типа материальных ресурсов. Другими словами, негативное воздействие поражающих факторов носит вероятностный характер. Величина вероятности поражения $P_{\text{пор}}$ (эффект поражения) измеряется в долях единицы или % и определяется по функции Гаусса через пробит-функцию:

$$P_{\text{пор}} = f[\text{Pr}(D)],$$

где Pr – пробит-функция, которая в общем виде записывается как

$$\text{Pr} = a + b \ln D,$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, характеризующие степень опасности поражающего фактора;

D – переменная, зависящая от уровня поражающего фактора.

В таблице 3 представлен вид пробит-функции для разных степеней поражения человека и разрушений зданий.

Таблица 3

Вид пробит-функции при поражающем действии ударной волны

Степень поражения	Пробит-функция (Pr)
Поражение человека	
1. разрыв барабанных перепонок	$Pr = -12.6 + 1.524 \ln \Delta P_\delta$
2. контузия	$Pr = 5 - 5.74 \ln \left\{ \frac{4.2}{1 + \frac{\Delta P_\delta}{P_0}} + \frac{1.3}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}} \right\}$
3. летальный исход	$Pr = 5 - 2.44 \ln \left\{ \frac{7.38}{\Delta P_\delta} + \frac{1.9 \cdot 10^3}{\Delta P_\delta \cdot I_+} \right\}$
Разрушение зданий	
1. слабые разрушения	$Pr = 5 - 0.26 \ln \left\{ \left(\frac{4.6}{\Delta P_\delta} \right)^{3.9} + \left(\frac{0.11}{I_+} \right)^5 \right\}$
2. средние разрушения	$Pr = 5 - 0.26 \ln \left\{ \left(\frac{17.5}{\Delta P_\delta} \right)^{8.4} + \left(\frac{0.29}{I_+} \right)^{9.3} \right\}$
3. сильные разрушения	$Pr = 5 - 0.22 \ln \left\{ \left(\frac{40}{\Delta P_\delta} \right)^{7.4} + \left(\frac{0.46}{I_+} \right)^{11.3} \right\}$

В этой таблице m – масса человека, кг; P_0 – атмосферное давление, кПа; I_+ – импульс фазы сжатия, кПа·с.

Для определения вероятности поражения через пробит-функцию используют таблицу 4.

Таблица 4

Соотношение между значениями пробит-функции и вероятностью поражения

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

Для определения зависимости избыточного давления во фронте ударной волны от расстояния до эпицентра взрыва **конденсированного (твердого) взрывчатого вещества** часто используют формулу Садовского:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{G_{\text{трот}}^{1/3}}{R} + 390 \frac{G_{\text{трот}}^{2/3}}{R^2} + 1300 \frac{G_{\text{трот}}}{R^3}, \quad (1)$$

где R – расстояние до эпицентра взрыва;

$G_{\text{трот}}$ – тротиловый эквивалент взорвавшегося вещества, кг, определяется по формуле:

$$G_{\text{трот}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{Q_{\text{трот}}} G, \quad (2)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{трот}}$ – энергия взрывов рассматриваемого взрывчатого вещества и тротила соответственно, кДж/кг;

G – масса взорвавшегося конденсированного вещества, кг.

Импульс фазы сжатия (кПа·с) для конденсированного (твердого) взрывчатого вещества находится по формуле:

$$I_{+} = \frac{0.4 G_{\text{трот}}^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

Для случая **взрыва парогазовоздушного облака** формула Садовского будет иметь вид:

$$\Delta P_{\phi} = 81 \frac{m_{\text{пр}}^{1/3}}{R} + 303 \frac{m_{\text{пр}}^{2/3}}{R^2} + 505 \frac{m_{\text{пр}}}{R^3}, \quad (4)$$

где $m_{\text{пр}}$ – приведенная масса пара или газа, участвующего во взрыве, кг, рассчитывается по формуле:

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{Q_{\text{трот}}} mZ, \quad (5)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{трот}}$ – энергия взрывов рассматриваемого взрывчатого вещества и тротила соответственно, кДж/кг;

m – масса газообразного вещества, поступившего в окружающее пространство, кг;

Z – коэффициент участия горючих газов или паров в горении.

Импульс фазы сжатия (кПа·с) для взрыва парогазовоздушного облака находится по формуле:

$$I_+ = \frac{0.123 m_{np}^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (6)$$

Остальные необходимые формулы для расчета параметров взрыва различных взрывчатых веществ см. учебное пособие С.С.Тимофеева, Т.И.Дроздова «Теория горения и взрыва» - Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007 г и последующие издания этого учебного пособия.

Пример задачи: на складе взрывчатых веществ хранится октоген массой $G = 50\,000$ кг. На расстоянии 100 м от склада находится одноэтажное здание механических мастерских, а на расстоянии 500 м – поселок с многоэтажными кирпичными зданиями. Энергия взрыва октогена 5860 кДж/кг, энергия взрыва тротила 4520 кДж/кг. Найти вероятность различных разрушений зданий механических мастерских и зданий в поселке.

Решение: найдем тротиловый эквивалент взорвавшегося октогена:

$$G_{\text{трот}} = \frac{5860}{4520} 50000 = 64823 \text{ кг}$$

Избыточное давление во фронте ударной волны на уровне механических мастерских (100 м от эпицентра):

$$\Delta P_{\phi}^{100} = 95 \frac{64823^{1/3}}{100} + 390 \frac{64823^{2/3}}{100^2} + 1300 \frac{64823}{100^3} = 185,36 \text{ кПа}$$

Полученная величина избыточного давления соответствует полному разрушению здания механических мастерских (таблица 6.1).

Избыточное давление во фронте ударной волны на уровне поселка (500 м от эпицентра):

$$\Delta P_{\phi}^{500} = 95 \frac{64823^{1/3}}{500} + 390 \frac{64823^{2/3}}{500^2} + 1300 \frac{64823}{500^3} = 10,8 \text{ кПа}$$

Определим вероятность разрушений зданий в поселке по пробит-функции, предварительно рассчитав импульс фазы сжатия:

$$I_+ = \frac{0,4 \cdot 64823^{2/3}}{\sqrt{500}} = 29 \text{ кПа} \cdot \text{с}$$

Таким образом, определим вероятность слабых разрушений:

$$\text{Pr} = 5 - 0,26 \ln \left\{ \left(\frac{4,6}{10,8} \right)^{3,9} + \left(\frac{0,11}{29} \right)^5 \right\} = 5,86$$

По таблице 7.4 значению пробит-функции равной 5.86 соответствует вероятность слабых разрушений 81%.

Для средних разрушений:

$$Pr = 5 - 0.26 \ln \left\{ \left(\frac{17.5}{10.8} \right)^{8.4} + \left(\frac{0.29}{29} \right)^{9.3} \right\} = 3.95$$

По таблице 7.4 значению пробит-функции равной 3.95 соответствует вероятность средних разрушений 14%.

Для сильных разрушений:

$$Pr = 5 - 0.22 \ln \left\{ \left(\frac{40}{10.8} \right)^{7.4} + \left(\frac{0.46}{29} \right)^{11.3} \right\} = 2.87$$

По таблице 7.4 значению пробит-функции равной 2.87 соответствует вероятность сильных разрушений 2%.

Вывод: в результате взрыва октогена на складе взрывчатых веществ в поселке, расположенном на расстоянии 500 м от склада будут преимущественно слабые разрушения зданий, сопровождающиеся повреждением или разрушением крыш, окон, дверных проемов.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические положения к работе;
2. Разобрать приведенный пример решения задачи;
3. Решить приведенные ниже задачи, обратить внимание на указания к решению, приведенные после условия задачи;
4. Выполнив задание, оформить отчет и сделать вывод о вероятности поражения людей и материальных ресурсов в анализируемой ситуации.

Задания к практической работе:

Задача 1.

Рассчитать вероятность различных разрушений зданий при выходе в атмосферу пропана, хранящегося в сферической емкости объемом 600 м³ при температуре окружающей среды 20 °С. Здания находятся на расстоянии 500 м от резервуара. Плотность сжиженного пропана 530 кг/м³, степень заполнения емкости – 80% по объему. Удельная теплота сгорания пропана 4,6·10⁴ кДж/кг, тротила – 4520 кДж/кг. Считать, что в течение времени, необходимого для выхода сжиженного газа из емкости, весь пропан испаряется.

Указания к решению задачи: перед расчетом избыточного давления ударной волны, образующейся при взрыве пропана, обратите внимание на агрегатное состояние пропана и *используйте формулу для соответствующего агрегатного состояния*. Обратите внимание на единицы измерения параметров в формуле и в исходных данных, для решения задачи необходимо их соответствие друг другу, коэффициент участия газа во взрыве (Z) примите равным 0,1.

Задача 2. На производственном объекте бензин хранится в наружном резервуаре объемом 500 м³ на бетонном поддоне площадью 400 м². На расстоянии 50 м от резервуара находится здание диспет-

черской. Определить возможную степень разрушения здания диспетчерской в случае аварии с разрушением резервуара. Принять температуру окружающей среды равной 27°C , плотность жидкого бензина – 740 кг/м^3 , молекулярная масса бензина – 94 кг/кмоль , скрытая теплота кипения бензина ($L_{\text{кип}}$ или $L_{\text{исп}}$) – 287300 Дж/кг , температура кипения бензина – 413 К , степень заполнения емкости с бензином – 80% по объему, удельная теплота сгорания бензина $4,62 \cdot 10^4\text{ кДж/кг}$, тротила – 4520 кДж/кг , коэффициент участия газа во взрыве (Z) примите равным $0,1$.

Указания к решению задачи: перед расчетом избыточного давления ударной волны, образующейся при взрыве резервуара с бензином, обратите внимание на агрегатное состояние бензина и *используйте формулу для соответствующего агрегатного состояния*. Учтите, что при разрушении емкости с бензином образуется первичное и вторичное облако испарившегося бензина и в суммарной массе взорвавшихся паров необходимо учесть массу как первичного, так и вторичного ПГВ облаков. При расчете массы взорвавшихся паров используйте формулы приведенные в приложениях А, Е и И ГОСТа Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Задача 3. На складе взрывчатых веществ хранится октоген массой $G = 50\,000\text{ кг}$. На расстоянии 100 м от склада находится одноэтажное здание механических мастерских, а на расстоянии 500 м – поселок с многоэтажными кирпичными зданиями. Энергия взрыва октогена 5860 кДж/кг , энергия взрыва тротила 4520 кДж/кг . Рассчитать радиусы зон летального поражения и безопасной для человека. Рассчитайте вероятность гибели персонала на границе зоны летального поражения.

Указания к решению задачи: воспользуйтесь графическим способом решения (график в координатах $\Delta P_{\text{ф}},\text{ кПа}$ ($R, \text{ м}$)).

Задача 4. Оценить вероятность разной степени травмирования человека, находящегося на расстоянии 20 м от баллона с пропаном при взрыве этого баллона. Емкость баллона 10 м^3 , температура окружающей среды 28°C , плотность пропана 530 кг/м^3 , удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^4\text{ кДж/кг}$, тротила – 4520 кДж/кг .

Указания к решению задачи: перед расчетом избыточного давления ударной волны, образующейся при взрыве пропана, обратите внимание на агрегатное состояние пропана и *используйте формулу для соответствующего агрегатного состояния*.

Задача 5. Рассчитать избыточное давление и импульс фазы сжатия при выходе в атмосферу бензина, хранящегося в сферической емкости объемом 50 м^3 при температуре воздуха 25°C , емкость заполнена на 95% , плотность бензина 740 кг/м^3 , его молекулярная масса 94 кг/кмоль , температура кипения бензина 377°C , скрытая теплота кипения бензина ($L_{\text{кип}}$ или $L_{\text{исп}}$) – 287300 Дж/кг . Оценить вероятность разрушения деревянных строений, находящихся на расстоянии 500 м от емкости, при разрушении емкости и взрыве, образовавшегося ПГВ облака.

Указания к решению задачи: перед расчетом избыточного давления ударной волны, образующейся при взрыве резервуара с бензином, обратите

внимание на агрегатное состояние бензина и *используйте формулу для соответствующего агрегатного состояния*. Учтите, что при разрушении емкости с бензином образуется первичное и вторичное облако испарившегося бензина и в суммарной массе взорвавшихся паров необходимо учесть массу как первичного, так и вторичного ПГВ облаков. При расчете массы взорвавшихся паров используйте формулы приведенные в приложениях А, Е и И ГОСТа Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Контрольные вопросы:

1. В чем отличие применения вероятностной и детерминистской моделей при определении ущерба от аварии?
2. Что является поражающим фактором при аварии со взрывом?
3. Что такое пробит-функция?
4. Как определить вероятность разной степени поражения людей при аварии со взрывом?
5. Как оценить вероятность разной степени разрушения зданий и сооружений при аварии со взрывом?

Практическая работа № 3

РАСЧЕТ И ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО И СОЦИАЛЬНОГО РИСКОВ

Цель занятия: научиться рассчитывать и наносить на карту потенциальный территориальный риск возникновения аварии на ОПО, а также строить F/N диаграммы

Теоретические положения

Требования и этапы расчета потенциального территориального и социального рисков приведены в ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Приложение Э и Ю.

Оценку риска проводят на основе построения логической схемы, в которой учитывают различные иницирующие события и возможные варианты их развития.

Рассчитывают вероятности $Q(A_i)$ реализации каждого из рассматриваемых вариантов логической схемы. Для этого используют следующие соотношения:

$$Q(A_1) = Q_{ав} Q_{мг} Q_{ф} \bar{Q}_{о.ш}, \quad (\text{Э.1})$$

где $Q_{ав}$ — вероятность аварийного выброса горючего вещества (разгерметизация установки, резервуара, трубопровода);

$Q_{мг}$ — вероятность мгновенного воспламенения истекающего продукта;

$Q_{ф}$ — вероятность факельного горения струи истекающего продукта;

$Q_{о.ш}$ — вероятность разрушения близлежащего резервуара под воздействием «огненного шара»;

$$\bar{Q}_{о.ш} = 1 - Q_{о.ш}.$$

$$Q(A_2) = Q_{ав} Q_{мг} Q_{ф} Q_{о.ш}, \quad (\text{Э.2})$$

$$Q(A_3) = Q_{ав} Q_{мг} Q'_{о.ш}, \quad (\text{Э.3})$$

где $Q'_{о.ш}$ — вероятность разрушения резервуара с образованием «огненного шара».

$$Q(A_4) = Q_{ав} \bar{Q}_{мг} P_3, \quad (\text{Э.4})$$

где $\bar{Q}_{мг}$ — вероятность того, что мгновенного воспламенения истекающего продукта не произойдет;

P_3 — вероятность того, что средства предотвращения пожара задачу выполнили, либо произошло рассеяние облака парогазовоздушной смеси.

$$Q(A_5) = Q_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 Q_{в.п} \bar{Q}_{о.ш}, \quad (\text{Э.5})$$

где $\bar{P}_3 = 1 - P_3$ — вероятность невыполнения задачи средствами предотвращения пожара;

$Q_{в.п}$ — вероятность воспламенения пролива.

$$Q(A_6) = Q_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 Q_{в.п} Q_{о.ш}, \quad (Э.6)$$

$$Q(A_7) = Q_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 \bar{Q}_{в.п} Q_{с.о} \bar{Q}_{о.ш}, \quad (Э.7)$$

где $\bar{Q}_{в.п} = 1 - Q_{в.п}$;

$Q_{с.о}$ — вероятность воспламенения облака паровоздушной смеси.

$$Q(A_8) = \bar{Q}_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 Q_{в.п} Q_{с.о} Q_{о.ш}, \quad (Э.8)$$

$$Q(A_9) = \bar{Q}_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 Q_{в.п} \bar{Q}_{с.д} Q_{о.ш} \quad (Э.9)$$

где $Q_{с.д} = 1 - Q_{с.о}$ — вероятность сгорания облака паровоздушной смеси, с развитием избыточного давления.

$$Q(A_{10}) = \bar{Q}_{ав} \bar{Q}_{мг} \bar{P}_3 Q_{в.п} Q_{с.д} Q_{о.ш} \quad (Э.10)$$

Символы A_1 — A_{10} обозначают:

A_1 — мгновенное воспламенение истекающего продукта с последующим факельным горением;

A_2 — факельное горение, тепловое воздействие факела приводит к разрушению близлежащего резервуара и образованию «огненного шара»;

A_3 — мгновенный выброс продукта с образованием «огненного шара»;

A_4 — мгновенного воспламенения не произошло, авария локализована благодаря эффективным мерам по предотвращению пожара либо в связи с рассеянием парового облака;

A_5 — мгновенной вспышки не произошло, меры по предотвращению пожара успеха не имели, возгорание пролива;

A_7 — сгорание облака парогазовоздушной смеси;

A_9 — сгорание облака с развитием избыточного давления в открытом пространстве;

A_6, A_8, A_{10} — разрушение близлежащего резервуара под воздействием избыточного давления или тепла при горении пролива или образовании «огненного шара».

Оценку вероятностных параметров, входящих в формулы (Э.1) — (Э.10), проводят следующим образом.

Вероятность $Q_{ав}$ разгерметизации установки (трубопровода, резервуара) и выброса горючего вещества в течение года определяют исходя из статистических данных об авариях по формуле

$$Q_{ав} = \frac{N_{ав}}{N_{уст} T}. \quad (Э.11)$$

где $N_{ав}$ — общее число аварийных выбросов горючего продукта на установках данного типа;

$N_{уст}$ — число наблюдаемых единиц установок;

T — период наблюдения, лет.

Вероятность мгновенного возгорания истекающего продукта $Q_{\text{мг}}$ рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{мг}} = \frac{N_{\text{мг}}}{N_{\text{а.в}}}, \quad (\text{Э.12})$$

где $N_{\text{мг}}$ — число случаев мгновенного воспламенения истекающего продукта при его аварийных выбросах.

При отсутствии необходимых статистических данных допускается принимать:

$$Q_{\text{мг}} = 0,05; \quad \bar{Q}_{\text{мг}} = 0,95. \quad (\text{Э.13})$$

Вероятность возникновения факельного горения $Q_{\text{ф}}$ рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{ф}} = \frac{N_{\text{ф}}}{N_{\text{мг}}}, \quad (\text{Э.14})$$

где $N_{\text{ф}}$ — число случаев факельного горения истекающего продукта на установках данного типа.

Вероятность возникновения «огненного шара» при разрушении близлежащего резервуара под воздействием пожара (избыточного давления) $Q_{\text{о.ш}}$ рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{о.ш}} = 1 - P_{\text{бл}} P_{\text{п.а}} P_{\text{оп}} [1 - (1 - P_{\text{ор}})(1 - P_{\text{т.п}})], \quad (\text{Э.15})$$

где $P_{\text{п.а}}$ — техническая надежность предохранительной арматуры резервуаров, принимают:

$$P_{\text{п.а}} = \begin{cases} 0,95 - \text{если установлены системы аварийного сброса продукта} \\ \quad \text{с требуемой производительностью;} \\ 0 - \text{если системы аварийного сброса отсутствуют;} \end{cases}$$

$P_{\text{бл}}$ — техническая надежность систем блокирования процессов подачи и переработки продукта при аварии, принимается:

$$P_{\text{бл}} = \begin{cases} 0,95 - \text{если системы блокирования установлены;} \\ 0 - \text{если системы блокирования отсутствуют;} \end{cases}$$

$P_{\text{т.п}}$ — вероятность эффективной защиты поверхности установки с помощью теплоизолирующих покрытий:

$$P_{\text{т.п}} = \begin{cases} 0,95 - \text{при наличии теплоизолирующего покрытия;} \\ 0 - \text{при отсутствии теплоизолирующего покрытия;} \end{cases}$$

$P_{\text{ор}}$ — вероятность эффективной работы систем орошения установок (резервуаров):

$$P_{\text{ор}} = \begin{cases} 0,95 - \text{при наличии системы орошения;} \\ 0 - \text{при отсутствии системы орошения;} \end{cases}$$

$P_{\text{оп}}$ — вероятность успеха выполнения задачи оперативными подразделениями пожарной охраны, прибывающими к месту аварии, рассчитывают по формуле

$$P_{\text{оп}} = P_{\text{у.п.с}} P(t_{\text{тп}} \leq t_{\text{п}}) + \bar{P}_{\text{у.п.с}} P_{\text{тп}} P'(t_{\text{тп}} \leq t_{\text{п}}), \quad (\text{Э.16})$$

где $P_{\text{у.п.с}}$ — вероятность выполнения задачи установками пожарной сигнализации;

$$\bar{P}_{y.п.с} = 1 - P_{y.п.с};$$

$P_{пр}$ — вероятность вызова персоналом аварийных подразделений:

$$P_{пр} = \begin{cases} 0,33 - \text{при односменном режиме работы,} \\ 0,67 - \text{при двухсменном режиме работы,} \\ 0 - \text{при трехсменном режиме работы;} \end{cases}$$

t_p — расчетное время воздействия опасных факторов пожара на близлежащий резервуар до его разрушения, мин;

$t_{пр}$ — время прибытия оперативных подразделений к месту пожара, мин;

$P(t_{пр} \leq t_p)$ — вероятность прибытия оперативных подразделений пожарной охраны за время, меньшее расчетного времени разрушения близлежащего резервуара.

Вероятность P_3 предотвращения пожара благодаря эффективным противопожарным мероприятиям или по погодным условиям рассчитывают по формуле

$$P_3 = \frac{N_{н.в}}{N_{а.в} - N_{мг}}, \quad (\text{Э.17})$$

где $N_{н.в}$ — число аварий, при которых не произошло воспламенения горючих веществ.

Вероятность $Q_{в.п}$ воспламенения пролива горючих веществ, образовавшегося в результате аварии с разгерметизацией установки, рассчитывают по формуле

$$Q_{в.п} = \frac{N_{в.п}}{N_{а.в} - N_{мг} - N_{н.в}}, \quad (\text{Э.18})$$

где $N_{в.п}$ — число случаев воспламенения пролива при авариях на установках данного типа.

Вероятность $Q_{с.о}$ о сгорания облака паровоздушной смеси, образовавшейся в результате выброса и последующего испарения горючих веществ, рассчитывают по формуле (Э.19)

где $N_{с.о}$ — число случаев сгорания облака при авариях на установках данного типа.

Вероятность $Q_{с.д}$ сгорания паровоздушной смеси с развитием избыточного давления рассчитывают по формуле

$$Q_{с.д} = \frac{N_{с.д}}{N_{а.в} - N_{мг} - N_{н.в} - N_{в.п}}, \quad (\text{Э.20})'$$

где $N_{с.д}$ — число случаев сгорания паровоздушной смеси с развитием избыточного давления при авариях на установках данного типа.

Если статистические данные, необходимые для расчета вероятностных параметров, входящих в формулы (Э.1) — (Э.10), отсутствуют, вероятность реализации различных сценариев аварии рассчитывают по формуле

$$Q(A_i) = Q_{ав} Q(A_i)_{ст}, \quad (Э.21)$$

где $Q(A_i)_{ст}$ — статистическая вероятность развития аварии по i -й ветви логической схемы. Для СУГ, $Q(A_i)_{ст}$ определяют по табл. Э.1.

Таблица Э.1 Статистические вероятности различных сценариев развития аварии с выбросом СУГ

Сценарий	Вероятность	Сценарий аварии	Вероятность
Факел	0,0574	Сгорание с	
Огненный шар	0,7039	развитием избыточного	0,0119
Горение пролива	0,0287	давления	0,0292

Для каждого варианта логической схемы проводят расчеты поражающих факторов (интенсивность теплового излучения, длительность его воздействия, избыточное давление и импульс волны давления) с помощью методов, приведенных в приложениях В, Д, Е. Вычисления проводят для заданных расстояний от места инициирования аварии. Количество вещества, принимающего участие в создании поражающих факторов, оценивают в соответствии с расчетным вариантом аварии.

Условная вероятность $Q_{п_i}$ поражения человека избыточным давлением, развиваемым при сгорании газопаровоздушных смесей, на расстоянии r от эпицентра рассчитывают следующим образом:

- вычисляются избыточное давление Δp и импульс i по методам, описанным в приложении Е;

- исходя из значений Δp и i , вычисляют значение «пробит» — функции P_r по формуле

$$P_r = 5 - 0,26 \ln(V), \quad (Э.22)$$

$$\text{где } V = \left(\frac{17500}{\Delta p} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3} \quad (Э.23)$$

Δp — избыточное давление. Па;

i — импульс волны давления. Па · с;

- с помощью соответствующей таблицы определяют условную вероятность поражения человека.

Условная вероятность поражения человека тепловым излучением определяется следующим образом:

а) рассчитываются P_r по формуле

$$P_r = -14,9 + 2,56 \ln(t q^{1,33}), \quad (Э.24)$$

где t — эффективное время экспозиции, с;

q — интенсивность теплового излучения, кВт/м².

t определяют:

1) для пожаров проливов ЛВЖ, ГЖ и твердых материалов

$$t = t_0 + x/v, \quad (\text{Э.25})$$

где t_0 — характерное время обнаружения пожара, с (допускается принимать $t = 5$ с);

x — расстояние от места расположения человека до зоны (интенсивность теплового излучения не превышает 4 кВт/м^2), м;

v — скорость движения человека, м/с (допускается принимать $v = 5$ с);

2) для воздействия «огненного шара» — в соответствии с приложением Д;

б) с помощью таблицы Э.2 определяют условную вероятность Q_{π_i} поражения человека тепловым излучением.

Э.8 Индивидуальный риск R , год^{-1} , определяют по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n Q_{\pi_i} Q(A_i), \quad (\text{Э.26})$$

где Q_{π_i} — условная вероятность поражения человека при реализации i -й ветви логической схемы;

$Q(A_i)$ — вероятность реализации в течение года i -й ветви логической схемы, год^{-1} ;

n — число ветвей логической схемы.

Пример — Расчет индивидуального риска при выбросе пропана из шарового резервуара.

Данные для расчета

Резервуар расположен на территории резервуарного парка склада сжиженных газов и имеет объем 600 м^3 . Температура 20°C . Плотность сжиженного пропана 530 кг/м^3 . Степень заполнения резервуара 80 % (по объему). Удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$. Расстояние от резервуара до человека, для которого определяют индивидуальный риск, составляет 500 м. Анализ статистики аварий показал, что вероятность выброса пропана из резервуара составляет $1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Расчет

Выполним оценку вероятности развития аварии по таблице Э.1 и формуле (Э.21).

Вероятность сгорания паровоздушной смеси в открытом пространстве с образованием волны избыточного давления (A_9)

$$Q_{\text{с.д}} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0119 = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность образования «огненного шара» (A_3):

$$Q_{\text{о.ш}} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7039 = 7,039 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятность воспламенения пролива (A_5):

$$Q_{\text{в.п}} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0287 = 2,87 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятности развития аварии в остальных случаях принимают

равными 0.

Определяем значения поражающих факторов с помощью методов, приведенных в приложениях В, Д, Е.

Согласно расчетам, выполненным в контрольных примерах приложений Д, Е, избыточное давление Δp и импульс i волны давления, интенсивность теплового излучения от «огненного шара» $q_{o.ш}$ и время его существования t_s на расстоянии 500 м составляют

$$\Delta p = 16,2 \text{ кПа}, i = 1000 \text{ Па} \cdot \text{с}; q_{o.ш} = 12,9 \text{ кВт/м}^2, t_s = 40 \text{ с}.$$

В соответствии с приложением В значение интенсивности теплового излучения от пожара пролива пропана на расстоянии 500 м составляет

$$q_{п} = 0,7 \text{ кВт/м}^2.$$

Для приведенных значений поражающих факторов по формулам (Э.22) и (Э.24) определяем значения «пробит» — функции P_r , которые соответственно составляют

$$P_r^{c.д} = 4,83; P_r^{o.ш} = 3,28; P_r^п = 0.$$

Для указанных значений «пробит» — функции по соответствующей таблице условная вероятность поражения человека поражающими факторами равна:

$$Q_{п}^{c.д} = 0,43; Q_{п}^{o.ш} = 0,04; Q_{п}^п = 0.$$

По формуле (Э.26) определяем индивидуальный риск:

$$R = 4,3 \cdot 10^{-1} \cdot 1,19 \cdot 10^{-5} + 4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 7,039 \cdot 10^{-4} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Наносим на карту зону, ограниченную этим уровнем риска, таким образом, представляем потенциальный территориальный риск.

Оценка социального риска для наружных технологических установок

Настоящий метод применим для расчета социального риска на наружных технологических установках при возникновении таких поражающих факторов, как избыточное давление, развиваемое при сгорании газопаровоздушных смесей, и интенсивность теплового излучения.

Оценку риска проводят на основе построения логической схемы, в которой учитываются различные иницирующие события и возможные варианты их развития. Пример построения логической схемы приведен в предыдущем разделе.

Рассчитывают вероятности $Q(A_i)$ реализации каждой из рассматриваемых ветвей логической схемы. Для этого используют соотношения (Э.1) — (Э.10), приведенные в разделах Э.3 и Э.4 приложения Э.

Если статистические данные, необходимые для расчета вероятностных параметров, входящих в формулы (Э.1) — (Э.10), отсутствуют, то вероятность реализации различных сценариев аварии определяют в соответствии с Э.4.9.

Для каждой ветви логической схемы проводят расчеты значений поражающих факторов (интенсивность теплового излучения, длительность его воздействия, избыточное давление и импульс волны давления). Вычисления

проводят для заданных расстояний от места инициирования аварии. Количество вещества, принимающего участие в создании поражающих факторов, оценивают в соответствии с расчетным вариантом аварии.

Определяют условные вероятности Q_{π_i} поражения человека на различных расстояниях r_i -й от наружной установки при реализации i -й ветви логической схемы. Строят графические зависимости $Q_{\pi_i} = f(r)$. На генеральном плане предприятия вокруг наружной установки строят зоны поражения, и для каждой из этих зон определяют:

- средние (по зоне) условные вероятности $Q_{\pi_{i,j}}$, поражения человека (j — номер зоны);
- среднее число и. людей, постоянно находящихся в j -й зоне.

Вычисляют ожидаемое число N_i погибших людей при реализации i -й ветви логической схемы по формуле

$$N_i = \sum_{j=1}^k Q_{\pi_{i,j}} n_j, \quad (\text{Ю.1})$$

где k - число рассматриваемых зон поражения, выбираемое исходя из того, что вне k -й зоны все значения

$Q_{\pi_{i,k}} \leq 1 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$, а в k -й зоне хотя бы одно из значений $Q_{\pi_{i,k}} > 1 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$.

Социальный риск S рассчитывают по формуле

$$S = \sum_{i=1}^l Q(A_i) \quad (\text{Ю.2})$$

где l — число ветвей логической схемы, для которых $N_i \geq N_0$ (N_0 — ожидаемое число погибших людей, для которого оценивается социальный риск. Допускается принимать $N_0 = 10$).

Если для всех ветвей логической схемы выполняется условие $N_i < N_0$, то рассматривают попарные сочетания ветвей логической схемы (реализация в течение года двух ветвей логической схемы), для которых выполняется условие:

$$N_{i_1, i_2} = N_{i_1} + N_{i_2} \geq N_0 \quad (\text{Ю.3})$$

При этом S_r рассчитывают по формуле

$$S_r = \sum_{i_1, i_2} Q(A_{i_1}) Q(A_{i_2}), \quad (\text{Ю.4})$$

где $Q(A_{i_1}) Q(A_{i_2})$ — вероятности реализации ветвей i_1 и i_2 дерева событий соответственно. В данной формуле суммирование проводят по всем парам ветвей логической схемы, для которых выполняется

условие (Ю.3).

Если ни для одной пары ветвей логической схемы условие (Ю.3) не выполняется, то S_r принимают равным 0.

Пример — Расчет социального риска при выбросе пропана из шарового резервуара

Данные для расчета

Резервуар расположен на территории резервуарного парка склада сжиженных газов и имеет объем 600 м^3 (рисунок Ю.1). Температура 20°C . Плотность сжиженного пропана 530 кг/м^3 . Степень заполнения резервуара 80 % (по объему). Удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$. Численность персонала, обслуживающего склад, — 15 чел. Режим работы — трехсменный. С одной стороны склада от его внешней границы расположена территория садово-дачных участков с плотностью заселения 200 чел/км^2 . Далее находится жилая зона с плотностью заселения 2000 чел/км^2 (рисунок Ю.1). Анализ статистики аварий показал, что вероятность выброса пропана из резервуара составляет $1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Расчет

Согласно расчетам, выполненным в контрольном примере приложения Э, вероятности сгорания паровоздушной смеси с образованием волны давления, образования «огненного шара» и воспламенения пролива соответственно составляют

$$Q_{\text{с.д}} = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}; Q_{\text{о.ш}} = 7,039 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}; Q_{\text{в.п}} = 2,87 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Вероятности развития аварии по остальным вариантам принимают равными 0.

Рассчитываем значения поражающих факторов, соответствующих рассматриваемым вариантам логической схемы, и значения условных вероятностей поражения человека $Q_{\text{п}_i}$ (согласно приложению Э) на различных расстояниях от аварийного резервуара.

Выбираем расстояния от 100 до 1000 м через каждые 100 м.

Вычисленные значения $Q_{\text{п}_i}$ наносим на график (рисунок Ю.2).

Производим деление территории на зоны поражения.

Целесообразно провести деление на три зоны — А, Б, В, а именно:

- зона А — территория склада (количество человек, постоянно пребывающих в зоне А, — $n^A = 15/3 = 5$ человек);

- зона Б — территория, занимаемая садово-дачными участками [количество человек, постоянно пребывающих в зоне Б, — $n^B = \rho^B S$, (ρ^B — плотность заселения, S — площадь, занимаемая садово-дачными участками)];

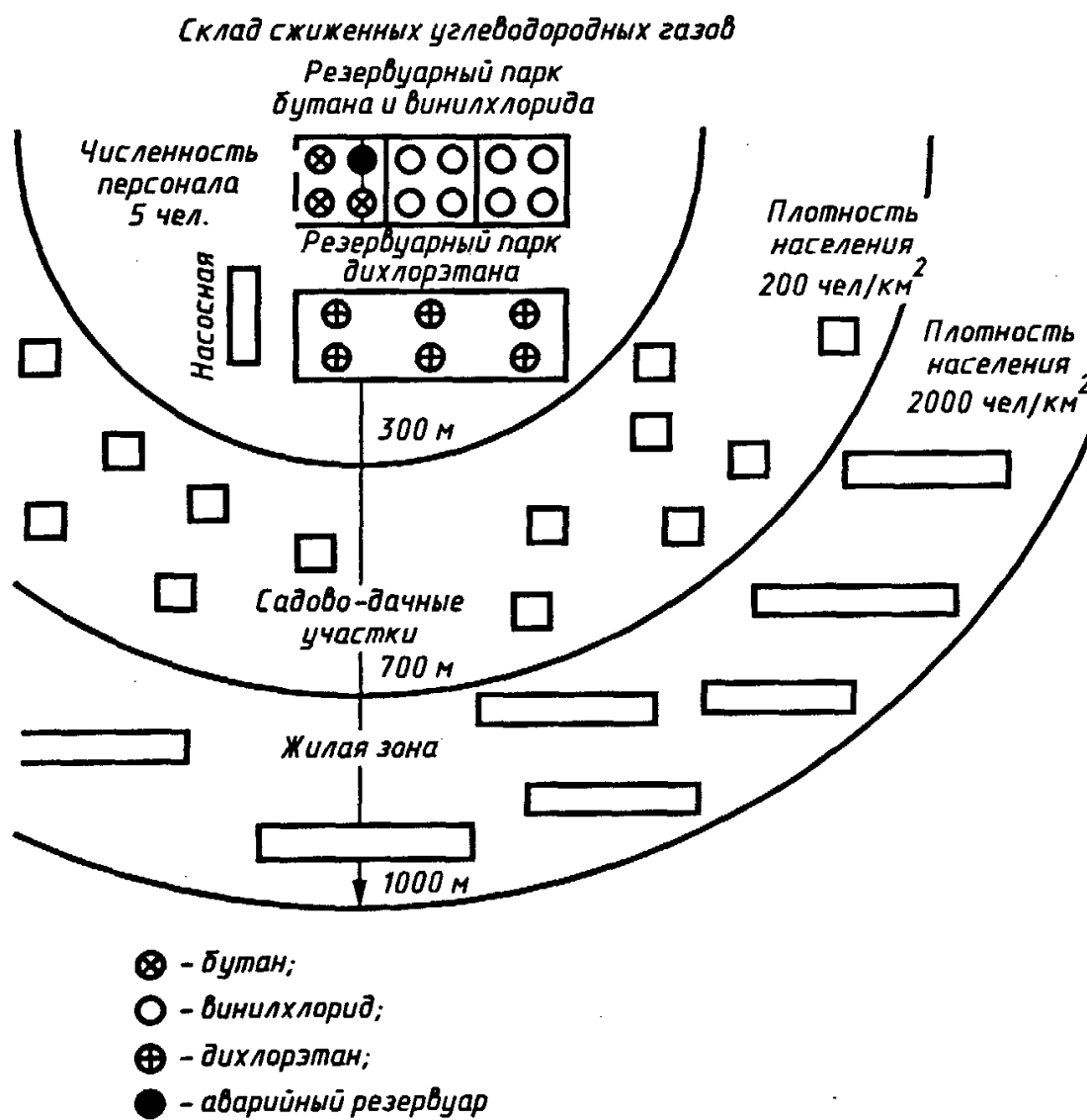


Рисунок 1 — Схема территории склада и прилегающей к нему местности

- зона В — территория, занимаемая жилой зоной (количество человек, постоянно пребывающих в зоне В, — $n^B = \rho^B S$, (ρ^B — плотность заселения, S — площадь жилой зоны, n^B , n^B — приведены в табл. 1)].

Таблица 1

Результаты вычислений, необходимые для определения социального риска

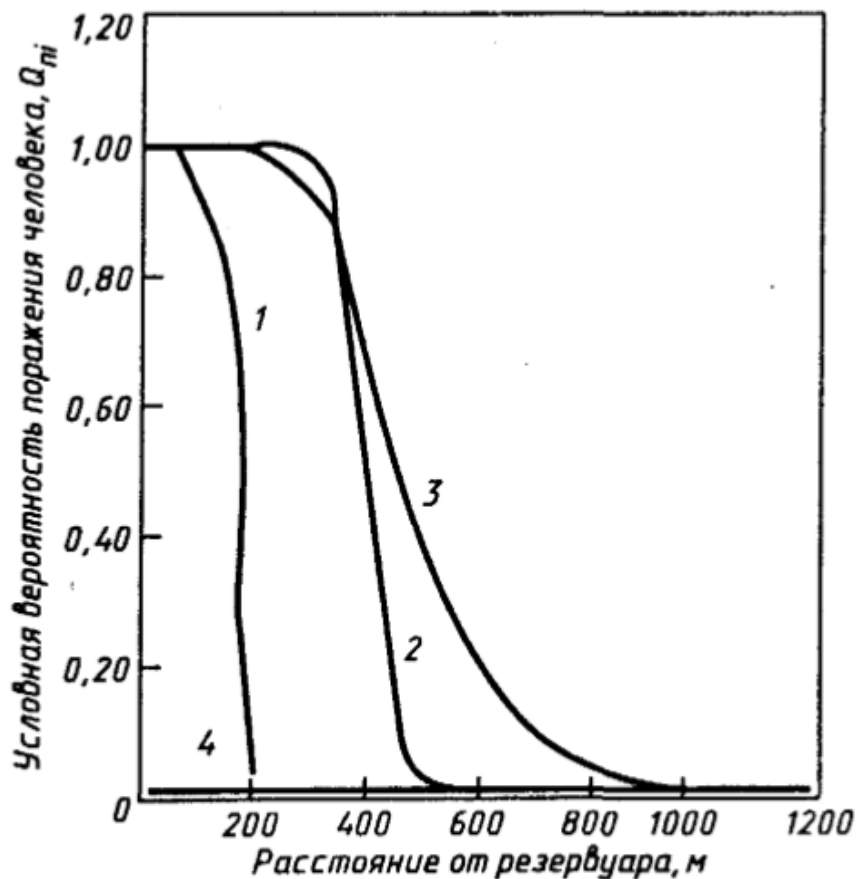
Зона	Расстояние от резервуара, м	Число человек в зоне	Условные вероятности поражения человека (средние по зонам)			Ожидаемое число погибших человек		
			$Q_{\pi}^{c.d} \cdot 10^2$	$Q_{\pi}^{o.m} \cdot 10^2$	Q_{π}^n	$N^{c.d}$	$N^{o.m}$	N^n
А	I 300	5	92	97	0	5	5	0
Б	II 400	22	81	83	0	18	18	0
	III 500	28	51	19	0	14	5	0
	IV 600	34	28	1	0	10	0	0
	V 700	40	14	0	0	6	0	0
В	VI 800	480	7	0	0	34	0	0
	VII 900	534	3	0	0	16	0	0
	VIII 1000	596	2	0	0	12	0	0

Для большей точности расчета разделяем территорию зон Б и В на подзоны (с II по VIII), следующие одна за другой через каждые 100 м (рис. 2), и определяем число людей n^B , n^B , постоянно пребывающих в этих подзонах (табл.1).

С помощью графика (рис.2) и формулы (Ю.1) определяем средние по подзонам I—VIII условные вероятности поражения человека ($Q_{\pi}^{c.d}$, $Q_{\pi}^{o.m}$, Q_{π}^n) и ожидаемое число погибших людей N_i при реализации соответствующих вариантов логической схемы (для подзоны I определение проводят по внешней границе зоны). Результаты определения приведены в таблице 1.

На основании полученных результатов и с помощью формулы (Ю.2) определяем социальный риск

$$S = 1,19 \cdot 10^{-5} + 7,039 \cdot 10^{-4} = 7,2 \cdot 10^{-4}.$$



1 — пожар пролива; 2 — «огненный шар»; 3 — сгорание с развитием избыточного давления; 4 — пороговое значение $Q_{pi} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$

Рис.2 — Зависимость условной вероятности поражения человека Q_{pi} на различных расстояниях от резервуара

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Использовать собственные исходные данные для выбранного объекта экономики.
3. Выполнить необходимые расчеты риска и выполнить их графическое представление.
4. Оформить отчет, сформулировать соответствующие выводы.

Практическая работа № 4

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ УЩЕРБА ПРИ АВАРИИ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Цель занятия: научиться оценивать величину полного ущерба от аварии на опасном производственном объекте.

Теоретические положения

Полная методика расчета составляющих ущерба при аварии на опасном производственном объекте представлена в РД 03-496-02 Методические указания по оценке ущерба от аварии на опасном производственном объекте.

Структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах, как правило, включает полные финансовые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария; расходы на ликвидацию аварии; социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц); вред, нанесенный окружающей природной среде; косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

При оценке ущерба от аварии на опасном производственном объекте за время расследования аварии (15 дней), как правило, подсчитываются те составляющие ущерба, для которых известны исходные данные. Окончательно ущерб от аварии рассчитывается после окончания сроков расследования аварии и получения всех необходимых данных. Составляющие ущерба могут быть рассчитаны независимо друг от друга.

Структура определения ущерба

Ущерб от аварий на опасных производственных объектах может быть выражен в общем виде формулой:

$$\Pi_a = \Pi_{п.п} + \Pi_{л.а} + \Pi_{сз} + \Pi_{н.в} + \Pi_{экол} + \Pi_{в.т.р.}; \quad (1)$$

где Π_a - полный ущерб от аварий, руб.;

$\Pi_{п.п}$ - прямые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, руб.;

$\Pi_{л.а}$ - затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.;

$\Pi_{сз}$ - социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб.;

$\Pi_{н.в}$ - косвенный ущерб, руб.;

$\Pi_{экол}$ - экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей

природной среды), руб.;

$\Pi_{в.т.р.}$ - потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности.

Прямые потери, $\Pi_{п.п.}$, от аварий можно определить по формуле

$$\Pi_{п.п.} = \Pi_{о.ф.} + \Pi_{тм.ц} + \Pi_{им}, (2)$$

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

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

$\Pi_{им}$ - потери в результате уничтожения (повреждения) имущества третьих лиц, руб.

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

$$\Pi_{л.а.} = \Pi_{л.} + \Pi_{р.}, (3)$$

где $\Pi_{л.}$ - расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии, руб.;

$\Pi_{р.}$ - расходы на расследование аварии, руб.

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

$$\Pi_{сз.} = \Pi_{г.п.} + \Pi_{г.т.л.} + \Pi_{т.п.} + \Pi_{т.т.л.} (4)$$

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

$$\Pi_{н.в.} = \Pi_{н.п.} + \Pi_{з.п.} + \Pi_{ш.} + \Pi_{н.п.т.л.} (5)$$

Экологический ущерб, $\Pi_{экол.}$, рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды

$$\Pi_{\text{экол}} = \Xi_a + \Xi_v + \Xi_{\text{п}} + \Xi_6 + \Xi_o, (6)$$

где Ξ_a - ущерб от загрязнения атмосферы, руб.;

Ξ_v - ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб.;

$\Xi_{\text{п}}$ - ущерб от загрязнения почвы, руб.;

Ξ_6 - ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов, руб.;

Ξ_o - ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования и т.д., руб.

Обобщенная структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах представлена на схеме 1 приложения 1.

Составляющие экономического ущерба

Прямые потери

Составляющие прямых потерь от аварии, входящие в формулу (2), рекомендуется определять следующим образом.

Потери предприятия от уничтожения (повреждения) аварией его основных фондов - производственных и непроизводственных, $\Pi_{o.f.}$, можно определить как сумму потерь в результате уничтожения, $\Pi_{o.f.y}$, и повреждения, $\Pi_{o.f.p.}$, основных фондов

$$\Pi_{o.f.} = \Pi_{o.f.y} + \Pi_{o.f.p.} (7)$$

При этом $\Pi_{o.f.y}$ можно рассчитать по формуле

$$\Pi_{o.f.y} = \sum_{i=1}^n (S_{oi} - (S_{mi} - S_{yi})) (8)$$

где n - число видов уничтоженных основных фондов;

S_{oi} - стоимость замещения или воспроизводства (а при затруднительности ее определения - остаточная стоимость) i -го вида уничтоженных основных фондов, руб.;

S_{mi} - стоимость материальных ценностей i -го вида, годных для дальнейшего использования, руб.;

S_{yi} - утилизационная стоимость i -го вида уничтоженных основных фондов, руб.

Для оборудования, машин, транспортных средств, инвентаря стоимость замещения можно определять исходя из суммы, необходимой для приобретения предмета, аналогичного уничтоженному, за вычетом износа, включая расходы по перевозке и монтажу, таможенные пошлины и прочие сборы.

Для зданий и сооружений стоимость замещения можно определять исходя из проектной стоимости строительства для данной местности объекта, аналогичного погибшему по своим проектным характеристикам и качеству строительных материалов, с учетом его износа и эксплуатационно-технического состояния.

В случае если стоимость замещения отдельных видов уничтоженных основных фондов затруднительно определить в виду их каких-нибудь уникальных характеристик либо в силу иных причин, S_{oi} можно определять по остаточной стоимости.

При частичном повреждении имущества стоимость ущерба, $П_{о.ф.п.}$, рекомендуется определять в размере расходов по его восстановлению до состояния, в котором оно находилось непосредственно перед наступлением аварии, при этом рекомендуется учитывать:

- расходы на материалы и запасные части для ремонта, руб.;
- расходы на оплату услуг сторонних организаций по ремонту, руб.;
- стоимость электрической и иной энергии, необходимой для восстановления, руб.;
- расходы по доставке материалов к месту ремонта и другие расходы, необходимые для восстановления объекта в том состоянии, в котором он находился непосредственно перед наступлением аварии, руб.;
- надбавки к заработной плате за сверхурочную работу, работу в ночное время, в официальные праздники, руб.

Из суммы восстановительных расходов производятся вычеты на износ заменяемых в процессе ремонта частей, узлов, агрегатов и деталей.

Восстановительные расходы, как правило, не включают:

- дополнительные расходы, вызванные изменениями или улучшениями пострадавшего объекта;
- расходы по переборке, профилактическому ремонту и обслуживанию, равно как и иные расходы, которые были необходимы вне зависимости от факта наступления аварии;
- другие расходы, произведенные сверх необходимых.

Для оценки потерь в результате уничтожения аварией основных фондов могут быть применены методы, используемые при оценке имущества.

В случае расчета прогнозируемого ущерба можно использовать метод определения восстановительной стоимости объекта оценки на основе сборников укрупненных показателей восстановительной стоимости (УПВС) на единицу объема, площади или длины с приведением этого показателя к уровню текущих цен с помощью индексов. При этом полная восстановительная стоимость определяется по формуле

$$S_{oi} = S_{\text{баз}} K_{69-84} I_{84-\text{тек}} N K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7,$$

где $S_{\text{баз}}$ - базисный удельный стоимостной показатель на единицу измерения зданий и сооружений;

K_{69-84} - коэффициент изменения стоимости строительства на 01.01.84 г. по сравнению с уровнем сметных цен на 01.01.69 г.;

$I_{84-\text{тек}}$ - индекс пересчета стоимости оцениваемого объекта на момент оценки по данным фирмы "Ко-инвест";

N - количество единиц измерения в оцениваемом объекте (строительный объем, площадь, протяженность и пр.);

K_1 - поправочный коэффициент на строительный объем;

K_2 - поправочный коэффициент на капитальность;

K_3 - поправочный коэффициент на климатический район;

K_4 - коэффициент расхождения конструктивных элементов здания или сооружения;

K_5 - территориальный коэффициент;

K_6 - ставка НДС (20 %);

K_7 - прибыль застройщика.

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

$$\Pi_{\text{м.ц.}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{т}i} + \sum_{j=1}^m \Pi_{\text{с}j} \quad (9)$$

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

$\Pi_{\text{т}i}$ - ущерб, причиненный i -му виду продукции, изготавливаемой предприятием $\Pi_{\text{т}}$ (как незавершенной производством, так и готовой), руб.;

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

$\Pi_{\text{с}j}$ - ущерб, причиненный j -му виду продукции, приобретенной предприятием, а также сырью и полуфабрикатам, руб.

$\Pi_{\text{т}i}$ можно определять исходя из издержек производства, необходимых для их повторного изготовления, но не выше их рыночной стоимости.

$\Pi_{\text{с}j}$ рекомендуется определять исходя из стоимости по ценам, необходимым для их повторной закупки, но не выше цен, по которым они могли бы быть

проданы на дату аварии, а также затрат на их транспортировку и упаковку, таможенных пошлин и прочих сборов.

Количество и стоимость товарно-материальных ценностей, имевшихся на момент аварии, могут определяться по данным бухгалтерского учета.

Для расчета прогнозируемого ущерба от уничтожения (повреждения) товарно-материальных ценностей, $\Pi_{\text{м.ц.}}$, можно исходить из среднегодового объема хранения продукции и сырья на объектах, попадающих в зону поражения, а

также средних оптовых цен на данные виды продукции и сырья.

Потери в результате уничтожения (повреждения) аварией имущества третьих лиц (в том числе населения), $\Pi_{им}$, рекомендуется определять аналогично определению ущерба имуществу предприятия (для юридических

лиц), а также на основании рыночной стоимости принадлежащего им по праву

собственности или владения имущества (для физических лиц) и (или) с учетом данных страховых компаний (в случае застрахованного имущества).

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

В них рекомендуется включать:

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

Расходы на расследование аварии, $\Pi_{р}$.

В них рекомендуется включать:

- оплату труда членов комиссии по расследованию аварии (в том числе командировочные расходы);
- затраты на научно-исследовательские работы и мероприятия, связанные с рассмотрением технических причин аварии;
- стоимость услуг экспертов, привлекаемых для расследования технических причин аварии, и оценку (в том числе экономическую) последствий аварии.

Источниками информации для определения прямых потерь могут служить материалы технического расследования причин аварии, счета сторонних организаций, акты списания основных средств, данные страховых компаний и др.

В случае расчета предварительного ущерба расходы на ликвидацию (локализацию) и расследование аварии можно оценивать исходя из средней стоимости услуг специализированных и экспертных организаций или принимать в размере 10 % стоимости прямого (имущественного) ущерба.

Социально-экономические потери

В социально-экономические потери, $\Pi_{сэ}$, как правило, включаются затраты на компенсацию и проведение мероприятий вследствие гибели персонала, $\Pi_{г.п.}$, и третьих лиц, $\Pi_{г.т.л.}$, и (или) травмирования персонала, $\Pi_{т.п.}$, и третьих лиц, $\Pi_{т.т.л.}$:

$$\Pi_{сэ} = \Pi_{г.п.} + \Pi_{г.т.л.} + \Pi_{т.п.} + \Pi_{т.т.л.} \quad (10)$$

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

$$\Pi_{г.п.} = S_{пог} + S_{п.к.}, \quad (11)$$

где $S_{пог}$ - расходы по выплате пособий на погребение погибших, руб.;

$S_{п.к.}$ - расходы на выплату пособий в случае смерти кормильца, руб.

Затраты, связанные с травмированием персонала, можно вычислять по формуле

$$\Pi_{т.п.} = S_{в.} + S_{и.п.} + S_{м.}, \quad (12)$$

где $S_{в.}$ - расходы на выплату пособий по временной нетрудоспособности, руб.;

$S_{и.п.}$ - расходы на выплату пенсий лицам, ставшим инвалидами, руб.;

$S_{м.}$ - расходы, связанные с повреждением здоровья пострадавшего, на его медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, руб.

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

Ущерб от гибели, $\Pi_{г.т.л.}$, и травмирования третьих лиц, $\Pi_{т.т.л.}$, в результате аварии на опасном производственном объекте определяется аналогично.

Расходы по выплате пособий на погребение погибших определяются исходя из

существующих в данной местности на дату аварии средних расходов на ритуальные услуги.

Право на получение пособия в случае смерти кормильца имеют:

– нетрудоспособные лица, состоявшие на иждивении умершего или имевшие ко дню его смерти право на получение от него содержания;

- ребенок умершего, родившийся после его смерти;
- один из родителей, супруг (супруга) либо другой член семьи независимо от его трудоспособности, который не работает и занят уходом за состоявшими на иждивении умершего его детьми, внуками, братьями и сестрами, не достигшими возраста 14 лет либо хотя и достигшими указанного возраста, но по заключению учреждения государственной службы медико-социальной экспертизы или лечебно-профилактических учреждений государственной системы здравоохранения признанными нуждающимися по состоянию здоровья в постороннем уходе;

- лица, состоявшие на иждивении умершего, ставшие нетрудоспособными в течение пяти лет со дня его смерти.

Ежемесячные выплаты в случае потери кормильца производятся:

- несовершеннолетним - до достижения ими возраста 18 лет;
- учащимся старше 18 лет - до окончания учебы в учебных учреждениях по очной форме обучения, но не более чем до 23 лет;
- женщинам, достигшим возраста 55 лет, и мужчинам, достигшим возраста 60 лет, - пожизненно;
- инвалидам - на срок инвалидности;
- одному из родителей, супругу (супруге) либо другому члену семьи, неработающему и занятому уходом за находившимися на иждивении умершего его детьми, внуками, братьями и сестрами, - до достижения ими возраста 14 лет, либо в случае их инвалидности - на срок инвалидности.

Размер ежемесячной выплаты по случаю потери кормильца рекомендуется исчислять исходя из его среднего месячного заработка, получаемых им при жизни пенсии, пожизненного содержания и других подобных выплат за вычетом долей, приходящихся на него самого и трудоспособных лиц, не имеющих право на получение выплат по случаю потери кормильца.

Оплата расходов, связанных с повреждением здоровья пострадавшего, S_m , на его медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, как правило, включает расходы на:

- дополнительную медицинскую помощь (сверх предусмотренной по обязательному медицинскому страхованию), в том числе на дополнительное питание и приобретение лекарств;
- посторонний (специальный медицинский и бытовой) уход за пострадавшим, в том числе осуществляемый членами его семьи;
- санаторно-курортное лечение, включая оплату отпуска (сверх ежегодного оплачиваемого отпуска, установленного законодательством Российской Федерации) на весь период лечения и проезда к месту лечения и обратно, стоимость проезда пострадавшего, а в необходимых случаях также стоимость проезда сопровождающего его лица к месту лечения и обратно, их проживания и питания;

- протезирование, а также на обеспечение приспособлениями, необходимыми пострадавшему для трудовой деятельности и в быту;
- обеспечение специальными транспортными средствами, их текущий и капитальный ремонты и оплату расходов на горюче-смазочные материалы;
- профессиональное обучение (переобучение).

Пособие по временной нетрудоспособности выплачивается за весь период временной нетрудоспособности пострадавшего до его выздоровления или установления стойкой утраты профессиональной трудоспособности в размере 100% его среднего заработка, исчисленного в соответствии с законодательством Российской Федерации о пособиях по временной нетрудоспособности.

Размер ежемесячной выплаты в случае стойкой потери трудоспособности можно определять как долю среднего месячного заработка пострадавшего до наступления аварии, исчисленной в соответствии со степенью утраты им профессиональной трудоспособности. Степень утраты пострадавшим профессиональной трудоспособности устанавливается учреждением медико-социальной экспертизы.

В местностях, где установлены районные коэффициенты, процентные надбавки к заработной плате, размер выплат определяется с учетом этих коэффициентов и надбавок.

При невозможности получения документа о размере заработка пострадавшего сумма ежемесячной страховой выплаты исчисляется исходя из тарифной ставки (должностного оклада), установленной (установленного) в отрасли (подотрасли) для данной профессии, и сходных условий труда ко времени аварии.

Ущерб, причиненный жизни и здоровью третьих лиц, можно определить либо исходя из сумм предъявленных исков, либо основываясь на тех же принципах, как и при определении ущерба, нанесенного персоналу в результате аварии на опасном производственном объекте.

Источниками информации для определения суммарных социально-экономических потерь от аварии могут служить материалы расследования технических причин аварии, листы временной нетрудоспособности, заявления пострадавших или членов семей погибших (пострадавших), заключения ВТЭК, приказы о выплате компенсаций и пособий, решения профсоюза, суда, администрации территорий, данные страховых компаний и др.

Для расчета прогнозируемых размеров социально-экономического ущерба можно исходить из следующих показателей: числа людей, попадающих в зону действия поражающих факторов, среднего возраста персонала, работающего на предприятии, средней зарплаты сотрудников, процентного соотношения мужчин и женщин на предприятии, среднего числа иждивенцев на одного сотрудника, а также средней стоимости медицинских и ритуальных услуг для данной местности. При оценке прогнозируемого социально-экономического ущерба третьим лицам можно исходить из аналогичных показателей для

попадающих в зону действия поражающих факторов предприятий (организаций) (для юридических лиц) или аналогичных показателей для данного региона (для физических лиц).

Косвенный ущерб

Косвенный ущерб, $\Pi_{н.в.}$, вследствие аварии рекомендуется определять как сумму недополученной организацией прибыли, $\Pi_{н.п.}$, сумму израсходованной заработной платы и части условно-постоянных расходов (цеховых и общезаводских) за период аварии и восстановительных работ, убытков, вызванных уплатой различных неустоек, штрафов, пени и пр., $\Pi_{ш.}$, а также убытки третьих лиц из-за недополученной прибыли:

$$\Pi_{н.в.} = \Pi_{з.п.} + \Pi_{н.п.} + \Pi_{ш.} + \Pi_{н.п.т.л.}, \quad (13)$$

где $\Pi_{з.п.}$ - заработная плата и условно-постоянные расходы за время простоя объекта, руб.;

$\Pi_{н.п.}$ - прибыль, недополученная за период простоя объекта, руб.;

$\Pi_{ш.}$ - убытки, вызванные уплатой различных неустоек, штрафов, пени, руб.;

$\Pi_{н.п.т.л.}$ - убытки третьих лиц из-за недополученной прибыли, руб.

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

$$\Pi_{з.п.} = (V_{з.п.}A + V_{уп})T_{пр}, \quad (14)$$

где $V_{з.п.}$ - заработная плата сотрудников предприятия, руб./день;

A - доля сотрудников, не использованных на работе (отношение числа сотрудников, не использованных на работе по причине простоя, к общей численности сотрудников);

$V_{уп}$ - условно-постоянные расходы, руб./день;

$T_{пр}$ - продолжительность простоя объекта, дни.

$\Pi_{з.п.}$ можно также определять по формуле

$$\Pi_{з.п.} = (V_{з.п.1}N + V_{уп})T_{пр}, \quad (14a)$$

где $V_{з.п.1}$ - средняя заработная плата 1 сотрудника предприятия (или его простаивающего подразделения), руб./день;

N - численность сотрудников, не использованных на работе по причине простоя.

Недополученную прибыль в результате простоя предприятия, $\Pi_{н.п.}$, в

результате аварии рекомендуется определять по формуле

$$\Pi_{н.п} = \sum_{i=0}^n \Delta Q_i (S_i - B_i) \quad (15)$$

где n - количество видов недопроизведенного продукта (услуги);

ΔQ_i - объем i -го вида продукции (услуги), недопроизведенный из-за аварии;

$$\Delta Q_i = (Q_i^0 - Q_i^1) T_{прі}, \quad (16)$$

здесь Q_i^0 - средний дневной (месячный, квартальный, годовой) объем выпуска i -го вида продукта (услуги) до аварии;

Q_i^1 - средний дневной (месячный, квартальный, годовой) объем выпуска i -го вида продукта (услуги) после аварии;

S_i - средняя оптовая стоимость (отпускная цена) единицы i -го недопроизведенного продукта (услуги) на дату аварии, руб.;

B_i - средняя себестоимость единицы i -го недопроизведенного продукта (услуги) на дату аварии.

$T_{прі}$ - время, необходимое для ликвидации повреждений и разрушений, восстановления объемов выпуска продукции (услуг) на доаварийном уровне.

В случае решения эксплуатирующей организации не восстанавливать опасный производственный объект до исходного состояния, показатели $T_{э.п}$ и $T_{н.п}$ и можно определить исходя из годовой прибыли организации. Однако в этом случае ущерб организации, связанный с повреждением (уничтожением) основных фондов, товарно-материальных ценностей, и косвенный ущерб в сумме не должны превышать рыночной стоимости данного объекта в доаварийном состоянии.

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

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

Источниками информации для оценки потерь от простоя в результате аварии могут являться материалы расследования технических причин аварии, экономико-статистические показатели отрасли и организации, счета сторонних организаций, иски, штрафы, пени за невыполненные договорные обязательства организацией, пострадавшей от аварии.

Экологический ущерб

Экологический ущерб, $\Pi_{экол}$, можно определить как сумму ⁶¹ущербов от каждого вида загрязнения в соответствии с формулой (6).

Ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, \mathcal{E}_a , как правило, определяется

исходя из массы загрязняющих веществ, рассеивающихся в атмосфере. Масса загрязняющих веществ находится расчетным или экспертным путем по действующим методикам.

Ущерб от загрязнения водных ресурсов, $\mathcal{E}_в$, рекомендуется определять суммированием ущерба от изменения качества воды и размера потерь, связанных со снижением его биопродуктивности. Ущерб от изменения качества воды оценивается на основании утвержденных нормативных документов.

Размер потерь, связанных со снижением биопродуктивности водного объекта, можно определять на основе непосредственного обследования биологических ресурсов, экспертной оценки стоимости снижения биологической продуктивности с учетом нормативно-методических документов.

Ущерб от загрязнения почвы, $\mathcal{E}_п$, рекомендуется определять на основе утвержденных указаний в соответствии с порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами и экспертной оценки стоимости потерь, связанных с деградацией земель в результате вредного воздействия.

Размер взыскания за ущерб, связанный с уничтожением биологических ресурсов, $\mathcal{E}_б$, как правило, определяется соответственно инструкциям, методикам и таксам.

Величину ущерба от засорения территории обломками, $\mathcal{E}_о$, рекомендуется определять в размере платежа за размещение отходов на не отведенной для этой цели территории в соответствии с инструктивно-методическими указаниями по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды.

Потери от выбытия трудовых ресурсов

$$\dot{\Pi}_{в.т.р.г} = H_{т} T_{р.д}, (17)$$

где $H_{т}$ - доля прибыли, недоданная одним работающим, руб./день;

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

Показатель $H_{т}$ рекомендуется определять исходя из удельных показателей национального (регионального) дохода по данной отрасли промышленности с учетом средней заработной платы на предприятии.

62

Алгоритм расчета ущерба от аварии

(Все приведенные в примере цифровые данные условные)

В результате аварии (разрушение заполненного на 80 % резервуара ЖБР-10000 с нефтью с последующим разливом нефти и возгоранием), происшедшей на опасном производственном объекте, расположенном в Нижегородской области, уничтожен полностью резервуар, незначительные повреждения получили несколько зданий предприятия, погиб один человек (из числа работающих на предприятии, имеющий на иждивении двух несовершеннолетних детей 9 и 13 лет) и два человека травмированы (в том числе один - из числа персонала, один - третье лицо).

Остаточная стоимость разрушенного резервуара (по бухгалтерским документам предприятия) составляет 6,08 млн руб. Утилизационная стоимость материальных ценностей составила 0,08 млн руб.

В результате аварии продолжительность простоя составила 10 дней; средняя дневная прибыль - по объекту 50 тыс. руб.; часть условно-постоянных расходов - 2 тыс. руб./день.

Для данного предприятия простой других производств, технологически связанных с данным аварийным объектом, отсутствует.

1. Прямые потери

Прямые потери, $\Pi_{\text{пр}}$, в результате уничтожения при аварии основных производственных фондов (здание, оборудование) составят:

Потери предприятия в результате уничтожения при аварии основных производственных фондов (резервуар) $\Pi_{\text{о.ф.у}} = 6\,080\,000 - 80\,000 = 6\,000\,000$ руб. = 6 000 тыс. руб.

Потери предприятия в результате повреждения при аварии основных производственных фондов, $\Pi_{\text{о.ф.п}}$:

- ✓ стоимость ремонта и восстановления оборудования, машин - 200 тыс. руб.;
- ✓ стоимость ремонта незначительно пострадавших соседних зданий (замена остекления, штукатурка) - 20 тыс. руб.;
- ✓ стоимость услуг сторонних организаций, привлеченных к ремонту, - 15 тыс. руб.;
- ✓ транспортные расходы, надбавки к заработной плате и затраты на дополнительную электроэнергию составили 10 тыс. руб.

Таким образом, $\Pi_{\text{о.ф.п}} = 200\,000 + 20\,000 + 15\,000 + 10\,000 = 245\,000$ руб. = 245 тыс. руб.

Потери продукции (резервуар типа ЖБР-10000, заполненный на 80%, нефть пролилась на сушу - коэффициента сбор - 60%, средняя оптовая отпускная цена нефти на момент аварии равна 1362 руб./т) составили 3,635 млн руб.

Повреждения материальных ценностей незначительны, ущерб имуществу третьих лиц не нанесен - остальные составляющие прямого ущерба не учитываются.

Таким образом, по формуле (2): $\Pi_{\text{п.п}} = 6\,000\,000 + 245\,000 + 3\,635\,000 = 9\,880\,000$ руб. = 9 880 тыс. руб.

2. Затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии

Расходы, связанные с ликвидацией и локализацией аварии, $II_{л}$, составят:

- ✓ непредусмотренные выплаты заработной платы (премии) персоналу при ликвидации и локализации аварии - 20 тыс. руб.;
- ✓ специализированные организации к ликвидации аварии не привлекались;
- ✓ стоимость материалов, израсходованных при локализации (ликвидации) аварии, - 100 тыс. руб.

Таким образом, потери при локализации и ликвидации аварии:

$$II_{л} = 20\,000 + 100\,000 = 120\,000 \text{ руб.} = 120 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на мероприятия, связанные с расследованием аварии, - 100 тыс. руб.

Таким образом, расходы на локализацию (ликвидацию) и расследование причин аварии составят по формуле (3): $II_{ла} = 120\,000 + 100\,000 = 220\,000$ руб. = 220 тыс. руб.

3. Социально-экономические потери

3.1. Ущерб, нанесенный персоналу предприятия.

3.1. Ущерб, нанесенный персоналу предприятия.

Средняя стоимость оказания ритуальных услуг, $S_{\text{пог}}$, в местности, где произошла авария, - 6 тыс. руб.

На иждивении погибшего находилось двое детей 9 и 13 лет. Периоды выплаты пенсий по случаю потери кормильца составляют соответственно:

$$(18 - 9) \times 12 = 108 \text{ мес.}$$

$$(18 - 13) \times 12 = 60 \text{ мес.}$$

Таким образом, весь период осуществления выплаты по случаю потери кормильца составит 168 месяцев.

Средний месячный заработок погибшего составлял 6 тыс. руб. Жена погибшего работает. Таким образом, размер ежемесячной выплаты на каждого ребенка составит $6 \times (1 - 2/4) / 2 = 1,5$ тыс. руб. Общая величина выплаты по случаю потери кормильца, $S_{\text{п.к}}$, составит:

$$S_{\text{п.к}} = 1500 \times 168 = 252\,000 \text{ руб.} = 252 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию, $S_{\text{м}}$, пострадавшим из числа персонала составили:

2,4 тыс. руб. - расходы на пребывание одного пострадавшего в стационаре в течение шести дней;

1,7 тыс. руб. - расходы на приобретение необходимых лекарственных средств;
10 тыс. руб. - санаторно-курортное лечение;
6 тыс. руб. - расходы на профессиональное переобучение.

Таким образом, $S_m = 2400 + 1700 + 10\,000 + 6000 = 20\,100$ руб. = 20,1 тыс. руб.

Поскольку травмированный в результате аварии приобрел стойкую утрату профессиональной трудоспособности, рассчитывается $S_{стр}$.

Возраст травмированного 42 года. Следовательно, период выплаты ежемесячной компенсации составит $(60 - 42) \times 12 = 216$ мес. Потеря в зарплате составила $6000 - 3000 = 3000$ руб./мес = 3 тыс. руб./мес. Таким образом, $S_{стр} = 216\,000 \times 3000 = 648\,000$ руб. = 648 тыс. руб.

Выплаты пособия по временной нетрудоспособности, S_v , пострадавшему (при средней месячной зарплате, равной 6 тыс. руб., 21-м рабочем дне в месяце, когда произошла авария, и периоде до установления стойкой нетрудоспособности со дня аварии, равном десяти рабочим дням) составят $(6000/21) \times 10 = 2860$ руб. = 2,86 тыс. руб.

Исков о возмещении морального вреда со стороны потерпевших или их родственников не последовало.

В результате социально-экономические потери, вызванные гибелью и травмированием персонала предприятия, составят: $6000 + 252\,000 + 20100 + 648\,000 + 2860 = 928\,960$ руб. = 928,96 тыс. руб.

В результате аварии легко травмирован прохожий (третье лицо), который предъявил иск на сумму 10 тыс. руб. (включающий расходы на медицинское обслуживание и компенсацию морального ущерба).

Таким образом, социально-экономический ущерб, $\Pi_{сэ}$, составил 938,96 тыс. руб.

4. Косвенный ущерб

Косвенный ущерб, $\Pi_{н.в.}$, вследствие аварии определяется в соответствии с формулами (13-16).

Известно, что на предприятии средняя заработная плата производственных рабочих $V_{з.п1}$ составляет 2 тыс. руб./мес (100 руб./день); число сотрудников, не использованных на работе в результате простоя, составило 100 чел.; часть условно-постоянных расходов, $V_{уп}$, составляет 2 тыс. руб./день.

Величина $\Pi_{з.п.}$, обозначающая сумму израсходованной зарплаты и части условно-постоянных расходов, рассчитываемая по формуле (5.14а) при $T_{пр} = 10$ дней, составит

$$\Pi_{з.п.} = (100 \times 100 + 2000) \times 10 = 120\,000 \text{ руб.} = 120 \text{ тыс. руб.}$$

На предприятии производится пять видов продукции. Разница между

отпускной ценой продукции и средней себестоимостью единицы недопроизведенного продукта на дату аварии составила 20 руб., 100 руб., 700 руб., 3500 руб., 800 руб. для каждого вида недопроизведенного продукта соответственно. Время, необходимое для ликвидации повреждений и разрушений, восстановления объемов выпуска продукции на доаварийном уровне составит 10, 3, 5, 7, 10 дней. Разница между объемами среднего дневного выпуска каждого вида продукции до аварии и среднего дневного выпуска продукции после аварии составляет 1000, 200, 200, 50, 1000 шт.

Таким образом, недополученная в результате аварии прибыль составит $20 \times 10 \times 1000 + 100 \times 3 \times 200 + 700 \times 5 \times 200 + 3500 \times 7 \times 50 + 800 \times 10 \times 1000 = 10\,185\,000$ руб. = 10 185 тыс. руб.

Убытки, вызванные уплатой различных штрафов, пени и пр., $\Pi_{\text{ш}}$, не учитываются, так как никаких штрафов, пени и пр. на предприятие не накладывалось.

Так как соседние организации не пострадали от аварии, недополученная прибыль третьих лиц не рассчитывается.

Таким образом, косвенный ущерб будет равен

$$\Pi_{\text{н.в}} = 120\,000 + 10\,185\,000 = 10\,305\,000 \text{ руб.} = 10\,305 \text{ тыс. руб.}$$

5. Экологический ущерб

В силу того что разлитие нефтепродуктов при аварии было ограничено размерами производственной площадки, то экологический ущерб, $\Pi_{\text{экол}}$, будет определяться главным образом размером взысканий за вред, причиненный продуктами горения нефти и нефтепродуктов.

$$\Xi_a = 5 \sum (H_{6ai} M_{ii}) K_{\text{и}} K_{\text{эа}},$$

где H_{6ai} - базовый норматив платы за выброс в атмосферу продуктов горения нефти и нефтепродуктов: CO, NO_x, SO_x, H₂S, сажи (C), HCN, дыма (ультрадисперсные частицы SiO₂), формальдегида и органических кислот в пределах установленных лимитов. H_{6ai} принимался равным 25, 2075, 1650, 10 325, 1650, 8250, 1650, 27 500 и 1375 руб./т;

M_{ii} - масса i -го загрязняющего вещества, выброшенного в атмосферу при аварии (пожаре), т;

$K_{\text{и}}$ - коэффициент индексации платы за загрязнение окружающей природной среды. $K_{\text{и}}$ принимался равным 94 согласно п. 2.26;

$K_{\text{эа}}$ - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха экономических районов Российской Федерации.

Для Волго-Вятского района при выбросе загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров:

$$K_{\text{эа}} = 1,1 \times 1,2 = 1,32.$$

Пример оценки возможных взысканий за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха при пожарах на резервуарах с нефтепродуктами приведен в табл. 2.

Таким образом, $\Pi_{\text{экол}} = 677,3$ тыс. руб.

Таблица 2

Оценка возможных взысканий за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха при пожарах на резервуарах с нефтепродуктами

Тип оборудо- вания	Масса нефтепродуктов, участвующих в аварии, т		Выбросы загрязняющих веществ, т/взыскание за сверхлимитный выброс, руб.								Суммарный размер взысканий при пожаре, руб.
	полная	сгоревших	при пожаре пролива								
			CO	NO _x	SO ₂	H ₂ S	Сажа (C)	HCN	HCHO	CH ₃ -COOH	
Ж БР-10000 (нефть)	6673	2666,0	223,9/ 3473	18,4/ 23681	74/ 75868	2,7/ 17077	453,2/ 463941	2,7/ 13645	2,7/ 45484	40/ 34113	677 286
РВС-20000 (нефть)	13346	5316,7	446,6/ 6927	36,7/ 47226	148/ 151300	5,3/ 34056	908,8/ 925215	5,3/ 27212	5,3/ 90707	80/ 68081	1 350 679
РВС П-20000 (бензин)	10944	10379,5	32,3/ 501	156,7/ 201764	12/ 12750	10,4/ 66487	15,3/ 15619	10,4/ 53125	5,5/ 94386	5,5/ 4719	449 363
РВС-20000 (керосин)	10696	7475,1	52,8/ 819	195,1/ 251159	35/ 36041	7,5/ 47883	96,4/ 98710	7,5/ 38260	8,8/ 150489	27/ 23275	646 642
РВС-20000 (ДТ)	12240	6112,4	43,2/ 669	159,5/ 205373	29/ 29471	6,1/ 39154	78,9/ 80716	6,1/ 31285	7,2/ 123055	22/ 19082	528 760
РВС-20000 (мазут)	14592	4370,7	367,1/ 5694	30,2/ 38823	122,1/ 24380	4,4/ 7997	743,0/ 760597	4,4/ 2370	4,4/ 74568	66/ 55926	1 110 360

6. Потери при выбытии трудовых ресурсов

Потери при выбытии трудовых ресурсов, $\Pi_{\text{в.т.р.г}}$, в результате гибели одного работающего составят:

Из расчета регионального дохода (в среднем по промышленности) для данной области $9,50 \cdot 10^{10}$ руб. и числа населения, занятого в промышленности, 2 057,5 тыс. человек, $\Pi_{\text{в.т.р.}} = 6000 \times (9,50 \cdot 10^{10} / 2\,057,5 \cdot 10^3) / (52 \times 5) = 1\,065\,500$ руб. = 1 065,5 тыс. руб.

В результате проведенного расчета суммарный ущерб от аварии по формуле (1) составляет:

$$\Pi_a = \Pi_{\text{п.п}} + \Pi_{\text{л.а}} + \Pi_{\text{сэ}} + \Pi_{\text{н.в}} + \Pi_{\text{экол}} + \Pi_{\text{в.т.р.}} = 9\,880\,000 + 220\,000 + 938\,960 + 10\,305\,000 + 677\,300 + 1\,065\,500 = 23\,086\,760 \text{ руб.} = 23\,086,76 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Вид ущерба	Величина ущерба, тыс. руб.
Прямой ущерб	9 880
В том числе ущерб имуществу третьих лиц	0
Расходы на ликвидацию (локализацию) аварии	220
Социально-экономические потери	938,96
В том числе гибель (травмирование) третьих лиц	10
Косвенный ущерб	10 305
В том числе для третьих лиц	0
Экологический ущерб	677,3
Потери от выбытия трудовых ресурсов	1 065,5
ИТОГО:	23 086,76
В том числе ущерб третьим лицам и окружающей природной среде	687,30

Порядок выполнения работы

1. Тщательно изучить методику оценки ущерба от аварии на опасном производственном объекте.
2. Получить задание у преподавателя или использовать собственные исходные данные по выбранному предприятию.
3. Произвести расчет ущерба в предположении наиболее опасного или наиболее вероятного сценария аварийной ситуации.
4. Оформить отчет и сформулировать соответствующие выводы.

Практическая работа № 5

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

Цель работы: Выполнить анализ риска аварии гидротехнического сооружения в соответствии с требованиями Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

Теоретические положения

Анализ риска аварий гидротехнических сооружений является частью системного подхода к принятию организационно-технических решений, процедур и практических мер по предупреждению или уменьшению опасности аварий гидротехнических сооружений для жизни людей и их здоровья, ущерба имуществу и окружающей природной среде.

Анализ риска - центральное звено в процедурах обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, базирующееся на всей доступной информации о сооружениях и определяющее меры по контролю за уровнем их безопасности. Процедура анализа риска - составная часть декларирования безопасности гидротехнических сооружений, экспертизы деклараций безопасности ГТС, определения критериев безопасности ГТС, расчета вероятного вреда, который может быть причинен третьим лицам в результате аварий, возможных на ГТС, экономического анализа безопасности гидротехнических сооружений по критериям «стоимость - безопасность - выгода», обоснования страховых ставок и тарифов, выбора приоритетов при планировании ремонтно-восстановительных работ и других видов оценки состояния гидротехнических сооружений и уровня их безопасности.

Основная задача анализа риска аварий гидротехнических сооружений заключается в использовании всей доступной информации о сооружениях для оценки вероятности (среднегодовой частоты) и последствий для отдельных людей, групп населения, имущества и окружающей природной среды от реализации опасностей, свойственных авариям ГТС. По результатам анализа риска при необходимости разрабатываются рекомендации по повышению уровня безопасности анализируемых гидротехнических сооружений (рис. 1).

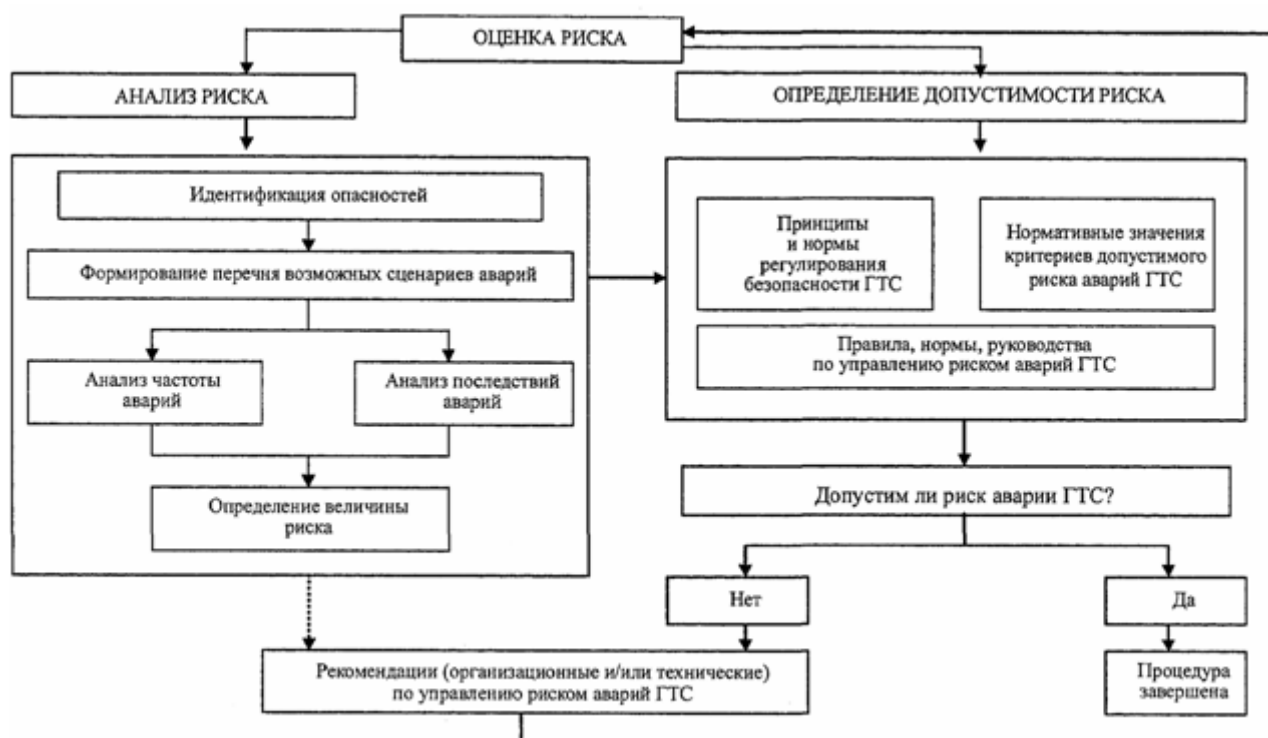


Рис. 1. Основные составляющие процедуры анализа и оценки риска аварий ГТС

Анализ риска включает три основных стадии:

- 1) идентификация опасностей - выявление всех возможных нежелательных явлений, процессов и событий, способных привести к аварии анализируемого сооружения; по результатам идентификации опасностей разрабатывается перечень сценариев аварий, возможных на сооружении;
- 2) анализ частоты - оценка (качественная и/или количественная) среднегодовой вероятности реализации выявленных на предыдущей стадии нежелательных явлений, процессов и событий, а также основных сценариев аварий, возможных на сооружении;
- 3) анализ последствий - оценка (качественная и/или количественная) ущерба (вреда) от возможных на анализируемом гидротехническом сооружении аварий, наносимого персоналу объекта, населению, имуществу и окружающей природной среде.

Результаты анализа риска аварий гидротехнических сооружений позволяют получить объективную информацию о состоянии сооружений и уровне их безопасности, данные о наиболее опасных процессах и воздействиях на сооружение, способных привести к его аварии, обоснованные рекомендации по уменьшению риска аварий ГТС.

Порядок проведения анализа риска аварий гидротехнических сооружений

Для обеспечения качества и согласованности результатов процесс анализа риска аварий гидротехнических сооружений должен включать следующие основные этапы:

- организация и планирование работ;

- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка рекомендаций по уменьшению риска.

Организация и планирование работ

На этапе организации и планирования работ по проведению анализа риска аварий конкретного гидротехнического сооружения:

- 1) описать причины и проблемы, вызвавшие необходимость анализа риска ГТС;
- 2) определить объект исследования - анализируемое сооружение или природно-техническую систему, формируемую на базе ГТС (рис. 2), и дать его описание;
- 3) подобрать необходимую группу исполнителей для проведения анализа риска аварий гидротехнического сооружения;
- 4) определить и описать источники информации о ГТС, территории его размещения, уровне его безопасности;
- 5) указать ограничения исходных данных, финансовых ресурсов и других факторов, определяющих глубину, полноту и детальность процесса анализа риска аварий ГТС;
- 6) определить цели анализа риска аварий ГТС;
- 7) выбрать методы анализа риска с учетом целей исследования, объема и качества исходных данных о сооружении, состава группы исполнителей и уровня их квалификации;
- 8) определить (по возможности) критерии допустимого риска аварий ГТС данного типа, класса и назначения.



Рис. 2. Пример анализируемой природно-технической системы, формируемой на базе ГТС

Цели анализа риска аварий должны быть определены и зафиксированы на этапе организации и планирования работ, исходя из причин и проблем, вызвавших необходимость проведения анализа риска, с учетом ограничений исходных данных, финансовых ресурсов и других факторов. На разных этапах жизненного цикла гидротехнического сооружения могут определяться конкретные цели анализа риска.

На этапе проектирования гидротехнического сооружения целью анализа риска может быть:

- идентификация возможных опасностей и априорная сравнительная оценка риска аварий ГТС для различных вариантов его размещения и проектных решений при обосновании оптимального варианта;
- обоснование допустимости (приемлемости) риска аварий проектируемого ГТС для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды территории;
- обеспечение информацией для разработки инструкций по обеспечению безопасности проектируемого ГТС, планов ликвидации аварийных ситуаций, планов действий в чрезвычайных ситуациях (ЧС) и т. д.;
- обоснование страховых тарифов и ставок для заключения договора страхования гражданской ответственности объекта - владельца ГТС;
- разработка декларации безопасности проектируемого сооружения и т.д.

На этапе ввода в эксплуатацию гидротехнического сооружения целью анализа риска может быть:

- идентификация возможных опасностей и оценка риска аварий, возможных на этапе ввода ГТС в эксплуатацию, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах жизненного цикла объекта;
- корректировка графика завершения строительства ГТС и уточнение степени готовности сооружений к вводу в эксплуатацию;
- проверка соответствия условий ввода ГТС в эксплуатацию требованиям безопасности;
- разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию ГТС;
- разработка декларации безопасности ГТС на стадии ввода в эксплуатацию;
- уточнение плана мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций на ГТС, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и т. д.

На этапе эксплуатации и реконструкции гидротехнического сооружения целью анализа риска может быть:

- уточнение информации об основных опасностях (например, при изменении социально-экономической инфраструктуры в нижнем бьефе гидроузла);
- оценка соответствия состояния ГТС и условий его эксплуатации современным нормам и правилам;
- определение приоритетных мер по ремонту и реконструкции ГТС, обоснование эффективности затрат на ремонт и реконструкцию;

- разработка декларации безопасности эксплуатируемого ГТС;
- расчет вероятного вреда, который может быть причинен в результате аварии ГТС, обоснование страховых тарифов и ставок;
- квалифицированное расследование причин имевших место аварий и неполадок на ГТС;
- разработка рекомендаций по организации безопасной эксплуатации ГТС, взаимодействию с органами надзора, страховыми компаниями ит. д.;
- совершенствование планов локализации аварийных ситуаций и действий в чрезвычайных ситуациях;
- разработка противотеррористических паспортов объектов и т. д.

На этапе вывода из эксплуатации и консервации гидротехнического сооружения целью анализа риска может быть:

- обоснование необходимых и достаточных мер по выводу из эксплуатации и консервации объекта, обеспечивающих его безопасность на указанных стадиях жизненного цикла ГТС;
- обоснование возможности размещения новых объектов на территории законсервированного сооружения и т. д.

Критерии допустимого риска аварий гидротехнических сооружений могут быть заданы нормативно-правовыми актами или (до выхода в свет нормативов) определены на этапе организации и планирования работ.

Идентификация опасностей

Идентификация опасностей для конкретного гидротехнического сооружения должна включать следующие основные шаги:

- предварительный анализ опасностей ГТС;
- разработка перечня возможных нежелательных процессов и событий, приводящих к аварии ГТС;
- формирование перечня основных сценариев возникновения и развития аварий и ЧС на ГТС;
- ранжирование основных сценариев возникновения и развития аварий и ЧС на ГТС по уровню риска для персонала объекта, населения, имущества и окружающей природной среды;
- выбор дальнейших направлений деятельности по анализу риска аварий ГТС.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) гидротехнического сооружения - первый обязательный шаг идентификации опасностей выполняется с целью выявления опасных элементов и конструкций ГТС и воздействий на них, способных привести к аварии анализируемого сооружения (рис. 3). Это один из наиболее ответственных этапов анализа риска, поскольку не выявленные на этапе ПАО опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения группы специалистов, выполняющих анализ риска аварий ГТС.

По результатам ПАО разрабатывается перечень возможных нежелательных процессов и событий, приводящих к аварии анализируемого ГТС, - вероятных причин аварий анализируемого гидротехнического сооружения. При разработке указанного перечня следует учитывать тип и класс сооруже-

ния, его назначение, условия размещения и эксплуатации, природно-климатические, социально-экономические и экологические факторы, а также сведения об авариях и ЧС, имевших место на аналогичных сооружениях.

На основе анализа вероятных причин аварий ГТС и результатов ПАО разрабатывается перечень основных сценариев возникновения и развития аварий и ЧС на анализируемом ГТС, учитывающий особенности гидротехнического сооружения и территории возможного аварийного воздействия (см. рис. 3). Указанный перечень должен быть максимально полным и учитывать по возможности все опасности, способные инициировать аварии ГТС, приводящие к чрезвычайной ситуации. Последнее требование может быть удовлетворено путем обсуждения результатов деятельности группы специалистов, выполняющей анализ риска конкретного ГТС, с экспертами по безопасности ГТС, не участвовавшими в процедуре предварительного анализа опасностей.

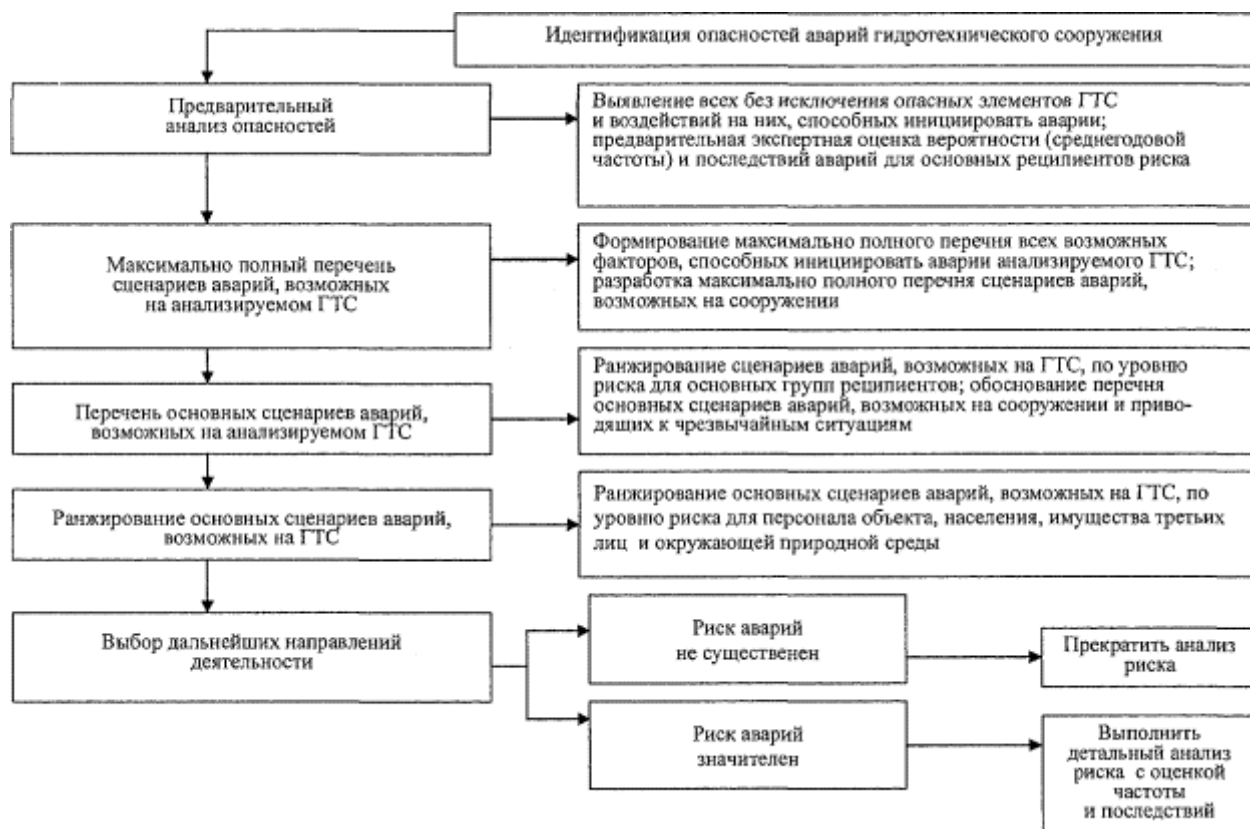


Рис. 3. Основные шаги процедуры идентификации опасностей

Таблица 1

Примерная форма таблицы результатов предварительного анализа опасностей (ПАО) аварий ГТС

№ п/п	Сооружение, элемент	Нежелательные явления, процессы, события, способные инициировать	Ожидаемые последствия для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды	Предварительная оценка вероятности реализации
		аварию ГТС		
Левобережная грунтовая плотина				
1.1	Сопряжение грунтовой плотины с бетонным водосбросом	Потеря фильтрационной прочности грунтов тела плотины в зоне сопряжения	Обрушение участка плотины в зоне сопряжения, образование прорана и волны прорыва, затопление территории в нижнем бьефе	Весьма вероятно ввиду низкого качества сопряжения
1.2

Ранжирование основных сценариев возникновения и развития аварий и ЧС на ГТС по уровню опасности для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды рекомендуется выполнять с помощью матрицы «частота - тяжесть последствий», приведенной в табл. 2. На этом этапе последствия аварии ГТС целесообразно оценить экспертным путем на качественном уровне. Цель ранжирования - определить, какие элементы и конструкции исследуемого ГТС и воздействия на него наиболее опасны с точки зрения возможности аварии сооружения и какие представляют меньший интерес.

В ряде практических приложений может применяться матрица качественной оценки риска гидротехнических сооружений (см., например, работу), в которой вместо уровней риска А - D используется понятие категорий аварий по уровню риска. В табл. 3 приведены категории прогнозируемых аварий ГТС и соответствующие уровни риска по тяжести последствий для основных групп реципиентов риска. По результатам ранжирования основных сценариев возникновения и развития аварий и чрезвычайных ситуаций на анализируемом гидротехническом сооружении группа исполнителей принимает решение о выборе дальнейших направлений деятельности (см. рис. 3):

Таблица 2

Матрица «частота - тяжесть последствий» для ранжирования возможных сценариев возникновения и развития аварий ГТС

Вероятность аварии	Среднегодовая частота, 1/год	Последствия аварии ГТС				
		несущественные	малые	средние	значительные	катастрофические
Почти несомненная	> 1	В	В	А	А	А
Весьма возможна	$1 - 10^{-2}$	С	В	В	А	А
Вероятна	$10^{-2} - 10^{-4}$	Д	С	В	А	А
Вряд ли	$10^{-4} - 10^{-6}$	Д	Д	С	В	А
Редко	$< 10^{-6}$	Д	Д	С	В	В

Обозначения уровней риска аварий: А - высокий; В - существенный; С - средний; Д - низкий.

Оценка риска

4.3.1. Основными задачами оценки риска аварий ГТС являются:

оценка частот (среднегодовых вероятностей) возникновения и развития аварий ГТС по всем основным сценариям, идентифицированным на стадии предварительного анализа опасностей (ПАО);

оценка последствий возникновения и развития основных сценариев аварий ГТС;

обобщение полученных оценок.

Таблица 3
Категорирование по уровню риска аварий, возможных на ГТС

Категория аварии	Уровень риска	Тяжесть последствий аварии			Рекомендации по анализу риска	Разработка мер безопасности
		для персонала и населения	для объектов и иных материальных ценностей	для окружающей природной среды		
A	Высокий	Гибель людей	Существенный ущерб ГТС и имущества у третьих лиц	Невосполнимые экологические потери	Обязательный анализ риска	Требуются особые меры для снижения риска
B	Существенный	Угроза жизни людей, травмы персонала и населения	Значительные разрушения ГТС и имущества третьих лиц	Существенные экологические потери	Желательный анализ риска	Требуются меры безопасности для снижения риска
C	Средний	Потери маловероятны	Незначительные повреждения ГТС, Потери имущества третьих лиц	Незначительные экологические потери	Рекомендованный анализ риска	Рекомендуется принятие мер безопасности
D	Низкий	Потери маловероятны	Незначительные повреждения ГТС, потери имущества третьих лиц маловероятны	Незначительные экологические потери	Анализ риска не требуется	Принятие мер безопасности не требуется

Для оценки (количественной и/или качественной) ожидаемых частот аварий гидротехнических сооружений используются следующие подходы:

- статистический, заключающийся в максимально полном использовании статистики аварий и неполадок, а также данных о надежности объектов-аналогов;
- графоаналитический, заключающийся в использовании логических

методов анализа «деревьев отказов» и «деревьев событий» или расчетных моделей сооружения;

– экспертный, заключающийся в выработке оценки путем учета мнений специалистов в данной области.

Следует отметить, что пределы и степень детализации анализа риска могут отличаться для разных подходов, допускающих как качественные, так и количественные оценки.

Оценка последствий аварий ГТС (количественная или качественная) включает анализ возможных аварийных воздействий ГТС на основные группы реципиентов риска, к которым относятся:

– персонал объекта - владельца гидротехнического сооружения или эксплуатирующей организации;

– население прилегающей территории, попадающей в зону затопления при гидродинамической аварии или лишенной энергоснабжения при остановке электростанции в результате аварии ГТС;

– имущество третьих лиц (предприятия, здания и сооружения промышленных и селитебных зон);

– окружающая природная среда.

Если риск опасного события, приводящего к аварии ГТС, признан недопустимым, а меры контроля за уровнем безопасности сооружения - неадекватными потенциальной опасности, то на этапе оценки риска определяется характер дополнительных мер контроля состояния сооружения и уровня его безопасности.

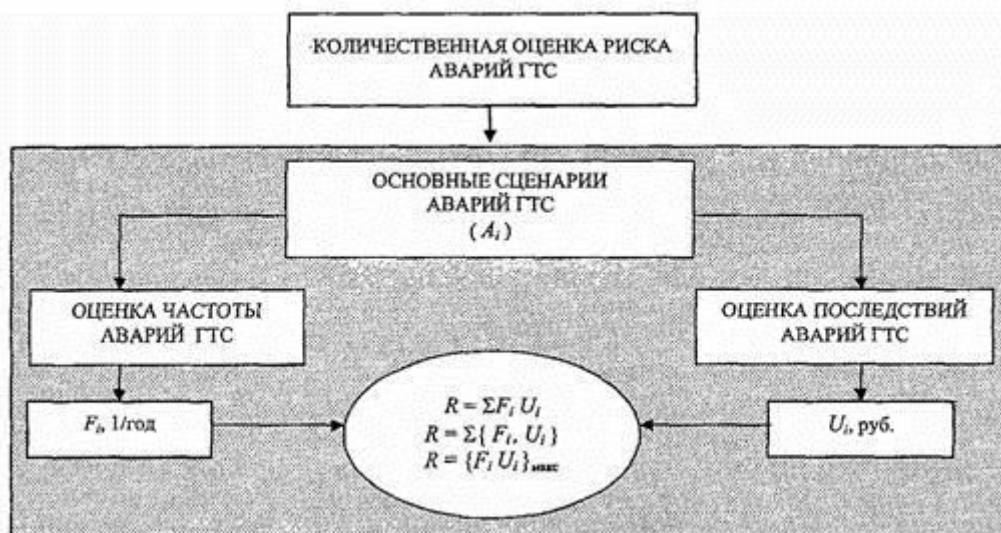


Рис. 4. Способы обобщения оценок составляющих риска аварий ГТС

Разработка рекомендаций по уменьшению риска

Рекомендации по уменьшению риска аварий гидротехнического сооружения разрабатываются на заключительном этапе анализа риска в случае, если вычисленный или качественно определенный риск опасных событий и процессов, приводящих к аварии ГТС, признан недопустимым и значимым по своим последствиям для основных групп реципиентов риска.

Меры по уменьшению риска могут иметь организационный, технический или социально-психологический характер (рис. 5). В выборе характера мероприятий решающее значение имеет общая оценка действенности мер по уменьшению риска. Наиболее предпочтительны технические и организационные меры, поскольку социально-психологические меры не изменяют уровень риска и касаются только проблем его восприятия обществом. На стадии эксплуатации организационные меры управления риском могут компенсировать ограниченные возможности владельца ГТС для принятия эффективных, но дорогостоящих технических мер по уменьшению риска аварий гидротехнического сооружения.

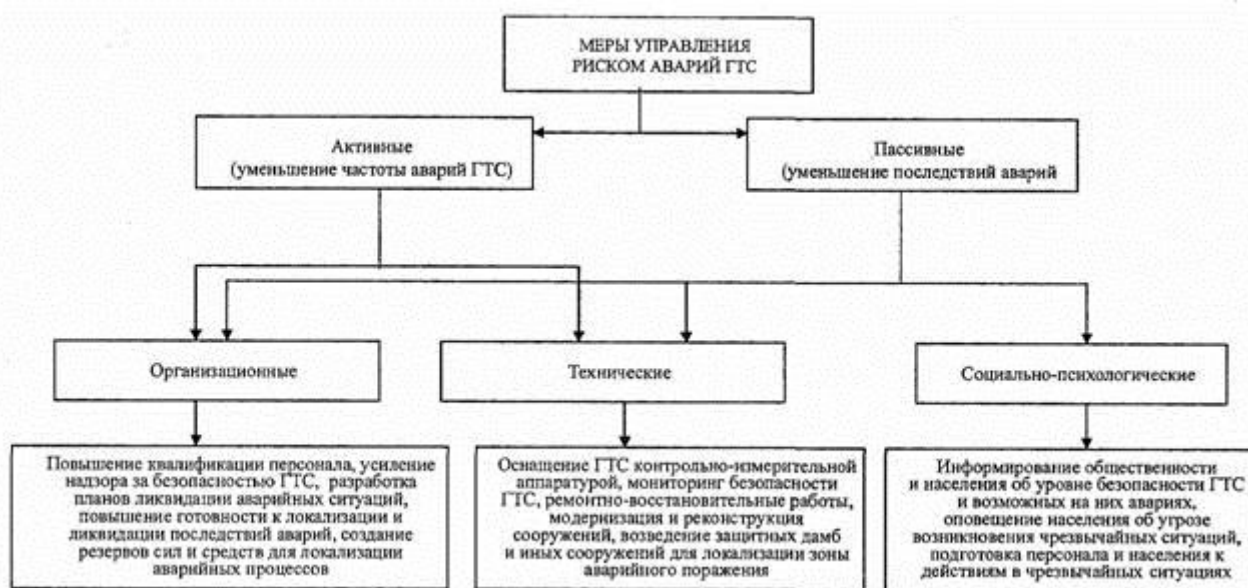


Рис. 5. Возможные меры управления риском аварий гидротехнических сооружений

Во всех случаях, где это возможно, меры уменьшения ожидаемой частоты аварий ГТС (активные меры управления риском) должны иметь приоритет над мерами уменьшения возможных последствий аварий (пассивные меры управления риском). Это означает, что при выборе технических и организационных мер для уменьшения риска аварий обязательно должны рассматриваться:

- активные меры управления риском, включающие меры уменьшения частоты (вероятности) возникновения опасных событий и процессов, ведущих к аварии ГТС;
- меры уменьшения частоты (вероятности) перерастания неполадки на ГТС в аварию;
- пассивные меры управления риском, имеющие, в свою очередь, свои приоритеты:
 - меры, предусматриваемые уже на стадии проектирования гидротехнического сооружения;
 - меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля за состоянием ГТС;

– меры в части организации, оснащенности и готовности к действиям противоаварийных служб на объекте.

При обосновании и оценке эффективности предлагаемых мер по уменьшению риска рекомендуется придерживаться одной из двух альтернативных целей их оптимизации:

– при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска аварии гидротехнического сооружения;

– при минимальных затратах обеспечить снижение риска аварии гидротехнического сооружения до допустимого уровня.

Установление приоритетности мер по уменьшению риска аварий ГТС в условиях заданных объемов средств или ограниченных ресурсов выполняется следующим образом:

– определяется совокупность мер, которые могут быть реализованы при заданных объемах финансирования;

– выполняется ранжирование этих мер по показателю «эффективность -затраты»;

– выполняется обоснование и оценка эффективности предлагаемых мер.

Требования к оформлению результатов анализа риска аварий гидротехнических сооружений

Общие требования к проведению и оформлению результатов анализа риска аварий гидротехнических сооружений должны соответствовать основным положениям Федерального Закона «О безопасности гидротехнических сооружений», Постановления Правительства РФ «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений», правил и норм в области безопасности гидротехнических сооружений.

Результаты анализа риска аварий гидротехнических сооружений должны быть обоснованы и оформлены таким образом, чтобы выполненные оценки, расчеты и выводы могли быть воспроизведены специалистами, не участвовавшими в первоначальном анализе.

Состав и объем документации, фиксирующей результаты анализа риска аварий ГТС, определяется целями и задачами анализа риска, включая идентификацию ГТС, подлежащих обязательному декларированию безопасности, разработку деклараций безопасности ГТС, экспертизу безопасности ГТС, расчет вреда от аварий ГТС, выбор приоритетов при проведении ремонтно-восстановительных работ, обоснование страховых тарифов и ставок, апостериорную оценку частот и последствий аварии ГТС ит. д.

При проведении анализа риска аварий гидротехнических сооружений в рамках декларирования безопасности ГТС организаций, поднадзорных Министерству природных ресурсов России, Министерству транспорта России или Госгортехнадзору России, результаты анализа риска ГТС как составная часть декларации безопасности должны быть оформлены в соответствии с требованиями порядков разработки деклараций безопасности ГТС, утвержденных соответственно МПР России, Минтрансом России или Госгортехнадзором России.

Примеры анализа и оценки риска аварий конкретных гидротехнических сооружений

Анализ и оценка риска аварий ГТС Чирюртских ГЭС

Состав сооружений: земляная плотина, донный бетонный водосброс, сопрягающий лоток, деривационный канал, напорный бассейн, напорные трубопроводы, здание ГЭС, отводящий канал, ОРУ 110 кВт.

Класс сооружений - II.

Длина напорного фронта - 0,35 км. Полная емкость водохранилища - 0,1 км³, полезная емкость - 0,004 км³. Максимальный статический напор - 49,5 м. Установленная мощность ГЭС при расчетном напоре 40,7 м составляет 72 тыс. кВт. Согласно результатам предварительного анализа опасностей (ПАО), выполненного экспертной группой в рамках комиссионного обследования состояния ГТС, обязательному декларированию безопасности подлежат: земляная плотина, донный водосброс, деривационный канал.

Земляная плотина - насыпная грунтовая зонированная, с глинистым ядром; длина - 430 м, максимальная высота - 37,5 м; ширина гребня - 9,5 м; заложение откосов: верхового от 1:2,5 до 1:3,5 низового от 1:2 до 1:2,25; в зоне переменного уровня верховой откос имеет крепление сборными железобетонными плитами. Донный бетонный водосброс в теле земляной плотины совмещен с водоприемником; водосброс длиной 34 м имеет 4 пролета шириной по 7 м и рассчитан на пропуск 3000 м³/с воды (паводок 0,1% обесп.); удельный расход на рисберме - 80 м³/с.

Внешними причинами аварий и чрезвычайных ситуаций на декларируемых гидротехнических сооружениях Чирюртских ГЭС, как показывают результаты ПАО, могут быть следующие природные и техногенные воздействия:

сверхрасчетное землетрясение;
сверхрасчетный ливень;
сверхрасчетный паводок;
потеря внешнего электропитания;
террористический акт на ГЭС.

Техногенные воздействия - случайные и злонамеренные - рассматриваются ввиду сложившейся на Северном Кавказе обстановки.

К внутренним причинам аварий ГТС Чирюртских ГЭС относятся:

отказы механического оборудования водосброса;
нарушение фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины или насыпной части деривационного канала;
нарушение статической устойчивости низовой призмы грунтовой плотины;
старение бетонной облицовки насыпной части деривационного канала;
нарушение водонепроницаемости противофильтрационных элементов плотины.

Анализ природно-климатических условий территории размещения гидротехнических сооружений Чирюртских ГЭС, показателей природных и техногенных воздействий на ГТС, компоновки сооружений, их конструкций и

опыта эксплуатации, выполненный экспертной группой, позволяет считать, что на Чирюртских ГЭС возможны следующие основные сценарии возникновения и развития аварий гидротехнических сооружений, способных привести к чрезвычайным ситуациям:

А1: перелив через гребень грунтовой плотины в паводок при снижении пропускной способности водосброса, возможном вследствие отказов механического оборудования водосбросных устройств, при потере внешнего электропитания или в результате террористического акта. Следствием перелива будет размыв участка плотины, образование прорана в теле плотины, волна прорыва и затопление нижнего бьефа.

А2: локальное разрушение участка грунтовой плотины вследствие возможной потери статической устойчивости плотины или фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины, сверхрасчетного землетрясения или злонамеренного разрушения плотины (террористический акт) может привести к переливу в зоне локального понижения гребня на разрушенном участке плотины даже при НПУ. Следствием перелива будет дополнительный размыв разрушенного участка плотины, образование прорана, волна прорыва и затопление нижнего бьефа.

А3: разрушение участка деривационного канала, возможное вследствие нарушения целостности бетонной облицовки или разрушения насыпной части борта канала, может привести к изливу массы воды из канала на прилегающую территорию.

Иные сценарии аварий, возможных на ГТС Чирюртских ГЭС, как показывает предварительный анализ опасностей и качественное ранжирование сценариев по уровню риска, к чрезвычайным ситуациям привести не могут, и поэтому далее не рассматриваются. Блок-схема анализа основных вероятных сценариев возникновения и развития аварий на ГТС Чирюртских ГЭС приведена на рис. П.2.1.

Моделирование прорана в теле грунтовой плотины, оценка параметров зоны затопления и ущерба от аварий А1 и А2 позволяют классифицировать их как территориальные чрезвычайные ситуации. Оценка габаритов зоны затопления и ущерба от аварии А3 позволяет классифицировать ее как локальную чрезвычайную ситуацию.

Причинами снижения пропускной способности водосброса могут быть: механические повреждения затворов;

механические повреждения в пазах затворов; неисправности приводных устройств;

потеря внешнего электропитания; злонамеренные действия - террористический акт.

Возможные причины разрушения грунтовой плотины вследствие потери статической устойчивости или фильтрационной прочности (перелив через гребень рассматривается как отдельный сценарий аварии):

потеря статической устойчивости низовой призмы плотины; сверхрасчетное землетрясение;

террористический акт; суффозия в основании плотины; суффозия в теле плотины;

нарушение водонепроницаемости противофильтрационных устройств плотины.

Возможные причины разрушения участка деривационного канала представляются следующими:

старение бетона облицовки участка канала в отсутствие контроля за ее целостностью;

злонамеренное разрушение бетонной облицовки или насыпи; суффозия грунтов насыпной части канала;

сверхрасчетное землетрясение.

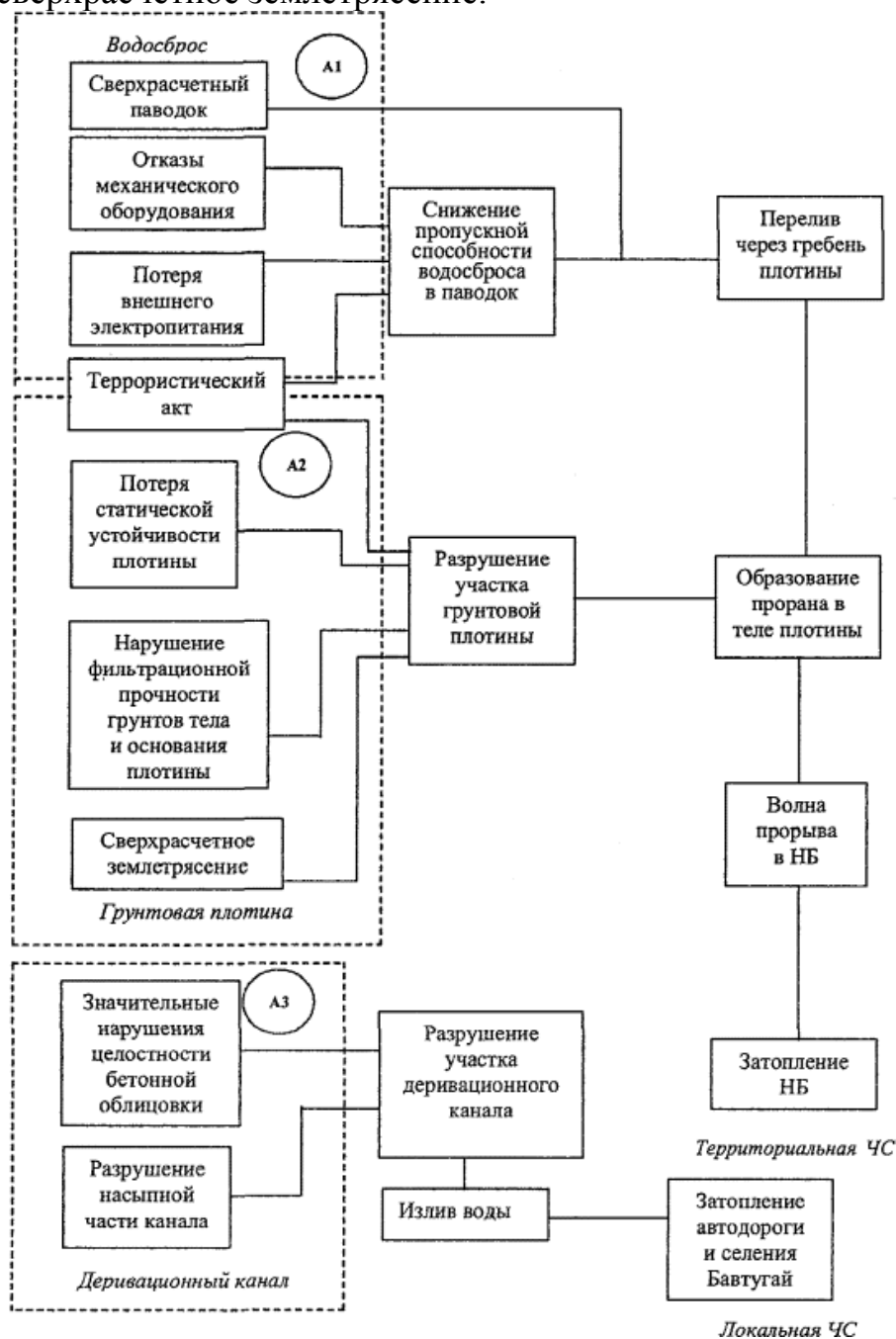


Рис. П.2.1. Блок-схема анализа основных вероятных сценариев возникновения и развития аварий на ГТС Чирюртских ГЭС

Качественная оценка риска основных сценариев развития аварий на декларируемых ГТС Чирюртских ГЭС, выполненная экспертным путем, показывает, что существенным является риск отказа водосброса в паводок (сценарий А1) и риск разрушения участка грунтовой плотины (сценарий А2), поскольку последствия аварий по этим сценариям классифицируются как территориальные чрезвычайные ситуации. Риск разрушения участка деривационного канала может считаться несущественным, так как его последствия классифицируются как локальная чрезвычайная ситуация.

Для количественной оценки риска основных сценариев развития аварий А1, А2, А3, возможных на ГТС Чирюртских ГЭС, использован метод анализа

«деревя отказов» z9 «Fault Tree Analysis» - FTA), рекомендованный СТПВНИИГ 230.2.001-00. На рис. П.2.2 - П.2.4 представлены «деревья отказов» для головных событий каждого из идентифицированных сценариев аварий на ГТС Чирюртских ГЭС.



Рис. П.2.2. «Дерево отказов» для сценария аварии А1



Рис. П.2.3. «Дерево отказов» для сценария аварии A2

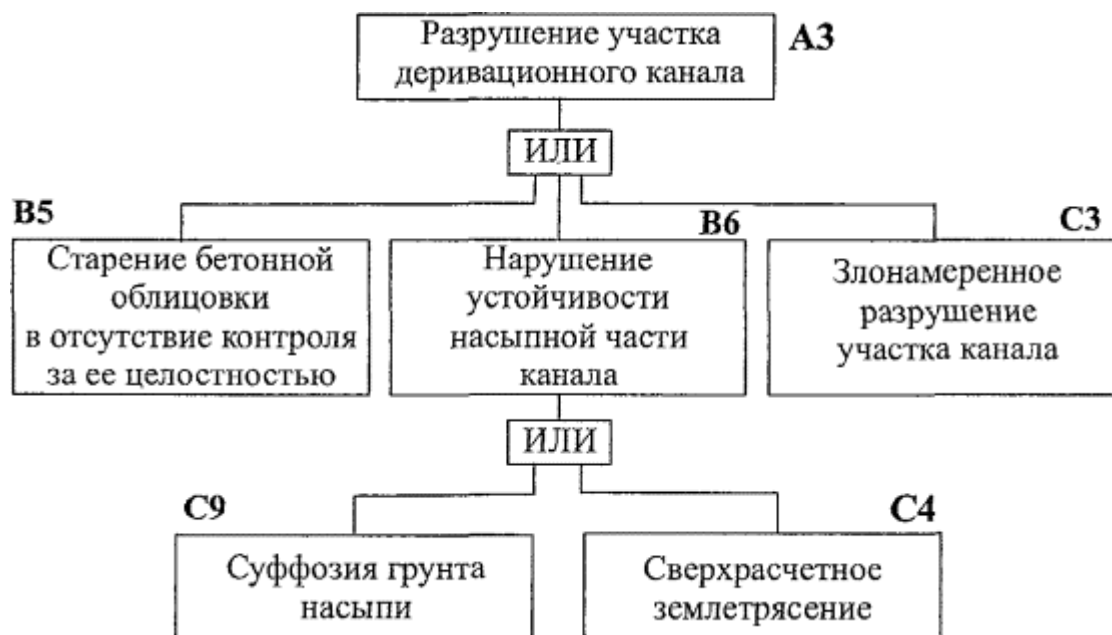


Рис. П.2.4. «Дерево отказов» для сценария аварии A3

Решение «деревьев отказов» выполнено по следующим формулам (обозначения элементов «деревьев отказов» приведены на рис. П.2.2 - П.2.4): Сценарий A1 - перелив через гребень плотины в паводок при снижении пропускной способности водосброса*

Решение «деревьев отказов» выполнено по следующим формулам (обозначения элементов «деревьев отказов» приведены на рис. П.2.2 - П.2.4):
Сценарий А1 - перелив через гребень плотины в паводок при снижении пропускной способности водосброса*

$$P_{A1} = P_{B1}P_{B2}; \quad (\text{П.2.1})$$

$$P_{B1} = 1 - (1 - P_{C1})(1 - P_{C2})(1 - P_{C3}). \quad (\text{П.2.2})$$

Сценарий А2 - локальное разрушение участка грунтовой плотины

$$P_{A2} = 1 - (1 - P_{B3})(1 - P_{B4}); \quad (\text{П.2.3})$$

$$P_{B3} = 1 - (1 - P_{C5})(1 - P_{C4})(1 - P_{C3}); \quad (\text{П.2.4})$$

$$P_{B4} = 1 - (1 - P_{C6})(1 - P_{C7})(1 - P_{C8}). \quad (\text{П.2.5})$$

Сценарий А3 - разрушение участка деривационного канала

$$P_{A3} = 1 - (1 - P_{B5})(1 - P_{B6})(1 - P_{C3}); \quad (\text{П.2.6})$$

$$P_{B6} = 1 - (1 - P_{C9})(1 - P_{C4}). \quad (\text{П.2.7})$$

Численные значения ожидаемых среднегодовых частот реализации событий - элементов «деревьев отказов» - определялись следующим образом:

С1, С2, С3, С8, С9, С10 - по опубликованным источникам информации;

С4, В2 - по данным проекта;

С5, С6, С7 - по методике R. Fell, рекомендуемой СТП ВНИИГ [22];

А1, А2, А3, В1, В3, В4, В5, В6 - по формулам (П.2.1)-(П.2.7).

Табл. П.2.1 содержит численные значения ожидаемых среднегодовых частот реализации событий и инцидентов, способных инициировать основные сценарии аварий на гидротехнических сооружениях Чирюртских ГЭС**.

* Среднегодовые вероятности событий D1, D2, D3 численно не определялись ввиду отсутствия статистических данных. Для оценки величины среднегодовой вероятности реализации события С2 использовались литературные источники.

Таким образом, среднегодовые вероятности аварий, возможных на гидротехнических сооружениях Чирюртских ГЭС, составляют:

Сценарий А1 - перелив через гребень плотины в паводок при снижении пропускной способности водосброса

$$P_{A1} = 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

(среднегодовая ожидаемая частота события «снижение пропускной способности водосброса в паводок» $P_{B1} = 10^{-3} \text{ 1/год}$; среднегодовая частота сверхрасчетных паводков для сооружений II класса $P_{B2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$).

Сценарий А2 - локальное разрушение участка плотины

$$P_{A2} = 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

Сценарий А3 - разрушение участка (ПК 20) деривационного канала

$$P_{A3} = 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

Следует отметить, что полученные количественные оценки учитывают вклад и среднегодовые вероятности возможных внешних воздействий на гидротехнические сооружения Чирюртских ГЭС:

сверхрасчетный паводок ($10^{-3}1/\text{год}$),
злонамеренные действия ($10^{-3}1/\text{год}$),
террористический акт ($10^{-3}1/\text{год}$),
сверхрасчетное землетрясение ($10^{-3}1/\text{год}$).

Среднегодовые вероятности аварий декларируемых ГТС, возможных по внутренним причинам, составляют соответственно:

C2 - снижение пропускной способности водосброса в паводок вследствие отказов механического оборудования

$$P_{C2} = 10^{-5}1/\text{год};$$

C5 - потеря статической устойчивости низовой призмы плотины

$$P_{C5} = 10^{-6}1/\text{год};$$

C6 - суффозия в основании плотины

$$P_{C6} = 10^{-7}1/\text{год};$$

C7 - суффозия в теле плотины

$$P_{C7} = 10^{-6}1/\text{год};$$

C8 - отказ противofильтрационных устройств плотины

$$P_{C8} = 10^{-5}1/\text{год}.$$

B5 - старение бетонной облицовки деривационного канала в отсутствие контроля за ее целостностью

$$P_{B5} = 1 \cdot 10^{-4}1/\text{год}.$$

Следовательно, риск катастрофических отказов декларируемых гидротехнических сооружений Чирюртских ГЭС по внутренним причинам составляет:

отказ водосброса - $10^{-5}1/\text{год}$,

отказ грунтовой плотины - $10^{-5}1/\text{год}$,

отказ деривационного канала - $10^{-4}1/\text{год}$.

Допускаемый отечественными нормами обобщенный риск реализации предельного состояния первой группы для грунтовых плотин II класса в период постоянной эксплуатации, согласно данным, составляет (4-5) $10^{-4}1/\text{год}$ *.

Сравнение указанных величин с полученными расчетным путем величинами риска катастрофических отказов декларируемых ГТС Чирюртских ГЭС позволяет считать риск аварий грунтовой плотины Чирюртских ГЭС приемлемым, а уровень безопасности ГТС в целом - соответствующим современным нормам и правилам. Однако, учитывая значительные масштабы последствий аварий на грунтовой плотине, рекомендуется разработка мероприятий по повышению уровня безопасности ГТС Чирюртских ГЭС.

Таблица П.2.1

Численные значения среднегодовых вероятностей отказов и инцидентов, возможных на гидротехнических сооружениях Чирюртских ГЭС

Обозначение элемента «деревя отказов»	Наименование элемента «деревя отказов»	Среднегодовая частота отказа P , 1/год
A1	Перелив через гребень грунтовой плотины	10^{-6}
A2	Разрушение участка грунтовой плотины	10^{-3}
A3	Разрушение участка деривационного канала	10^{-3}
B1	Снижение пропускной способности водосброса	10^{-3}
B2	Сверхрасчетный паводок	10^{-3}
B3	Потеря статической устойчивости грунтовой плотины	10^{-3}
B4	Потеря фильтрационной прочности грунтовой плотины	10^{-5}
B5	Старение бетонной облицовки в отсутствие контроля за ее целостностью	10^{-4}
B6	Нарушение устойчивости насыпной части деривационного канала	10^{-3}
C1	Потеря внешнего электропитания	10^{-2}
C2	Отказ механического оборудования водосброса	10^{-4}
C3	Террористический акт	10^{-3}
C4	Сверхрасчетное землетрясение	$< 10^{-3}$
C5	Потеря статической устойчивости низовой призмы плотины	10^{-6}
C6	Суффозия в основании плотины	10^{-7}
C7	Суффозия в теле плотины	10^{-6}
C8	Отказ противofiltrационных устройств плотины	10^{-5}
C9	Суффозия грунтов насыпной части деривационного канала	10^{-5}

Анализ и оценка риска аварий гтс проектируемого шламохрани- лища ОАО «Ачинский глиноземный комбинат»

Декларированию безопасности подлежат гидротехнические сооружения карты № 2 шламохранилища (ШХ) открытого акционерного общества «Ачинский глиноземный комбинат» (ОАО «АГК») на стадии проектирования. Шламохранилище предна-

значено для приема и складирования нефелинового шлама глиноземного производства и золошлаковых отходов ТЭЦ.

В состав ГТС проектируемой карты № 2 ШХ входят:

ограждающие дамбы ярусов наращивания и пионерная дамба с отметкой гребня 204,00 м;

водоотводная зона на отметке 199,00 м;

разводящие шламопроводы, укладываемые по периметру дамб; боковые выпуски шлама через 80 м по длине шламопроводов; водосбросные колодцы шахтного типа - 2 шт.;

водосбросные коллекторы - 2 шт.; сооружения системы дренажа.

В основании карты № 2 уложен противofильтрационный экран из полиэтиленовой пленки толщиной 1 мм.

Шламохранилище по рельефу местности относится к равнинному типу; по конструкции - к II типу (с дамбами из шламового материала). Площадь декларируемой карты № 2 - 115 га (в осях ограждающей дамбы). Карта № 2 ШХ АГК располагается в юго-западной части шламового поля. С восточной стороны карта № 2 примыкает к действующей карте № 1, с северной - к карте № 3.

Карта № 2 запроектирована на складирование 48 млн. т шлама и золы в течение 6-8 лет при коэффициенте заполнения 0,9. Согласно данным проекта, ГТС карты № 2 при намыве ее до отметки 246,0 м относятся к II классу.

Сооружением, образующим напорный фронт секции № 2, является пионерная дамба, а также дамбы ярусов наращивания, возводимые из свежих шламов. Полезная площадь (площадь карты намыва) в осях пионерных дамб составляет 105 га. Длина ограждающей дамбы секции № 2 составляет 3,05 км. Строительный объем для тела проектируемых дамб секции № 2 - 211,76-

106 м³. Размеры шламохранилища 2,5 × 2,2 км. Шламохранилище расположено на расстоянии 0,4 км к северу от основной промплощадки комбината.

На площадке карты № 2 имелись заиленные бывшие старицы и оз. Подкова. В прошлые годы на карте № 2 был произведен замыв естественного ложа шламом до отметок 196,0 -198,0 м на 70 % площади для выравнивания основания перед устройством экрана.

По результатам предварительного анализа опасностей обязательному декларированию безопасности подлежит ограждающая дамба секции № 2.

Основными внешними причинами, способными вызвать чрезвычайные ситуации на декларируемом сооружении, могут быть следующие природные и техногенные воздействия:

сверхрасчетное землетрясение;

сверхрасчетные неблагоприятные природные явления (ливень большой интенсивности и протяженности; обильное снеготаяние и др.);

авария с образованием волны прорыва на ограждающих дамбах примыкающих карт;

воздействие на шахтные водосбросы ледовых нагрузок;

изменение температуры в зимний период (процесс замерзания-оттаивания). К внутренним причинам аварий дамбы относятся:

потеря устойчивости низового откоса дамбы;

потеря фильтрационной прочности грунтов тела дамбы; перелив воды через гребень дамбы.

Поскольку оценка риска аварий ГТС проводится на стадии проекта, в анализе факторов возникновения аварий дамбы не учитывались дополнительные причины, свойственные процессам строительства и последующей эксплуатации сооружений.

Аварии на шламопроводах, связанные с их разрушением вне границ шламохранилища, а также отказы оборудования насосной станции не приведут к возникновению и развитию аварийной ситуации, поскольку на станции за работой системы гидротранспорта и ее элементов ведется надлежащий ежедневный контроль, позволяющий своевременно обнаружить и устранить возникновение повреждений в системе, а проектом предусмотрено резервное оборудование насосной станции.

Выполненный анализ факторов, обуславливающих возможные аварии ГТС карты № 2, и результаты оценки проектных решений конструкций сооружений позволили идентифицировать следующие сценарии возникновения и развития аварий, способных привести к ЧС:

отказ ограждающей дамбы (сценарий А1);

отказ водоотводных сооружений системы гидротранспорта (сценарий А2). Блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварий ГТС секции № 2 шламохранилища АГК приведена на рис. П.2.5.

Анализ исполнительной и проектной документации, результатов выполненных расчетов по обоснованию конструкции дамбы, опыт эксплуатации аналогичных объектов позволяют идентифицировать следующие возможные причины отказа сооружений карты № 2 ШХ АГК - сценарий А1: потеря устойчивости низового откоса ограждающей дамбы; нарушение фильтрационной прочности грунтов тела дамбы; перелив воды через гребень дамбы.

Возможными причинами отказа системы гидротранспорта карты № 2 - сценарий А2 - являются:

разрушение золошлакопроводов в границах карты № 2; повреждение шахтных водосбросных колодцев;

отказ отводящего коллектора осветленной воды; нарушение технологии заполнения карты № 2.

На рис. П.2.6 представлен логический причинно-следственный граф - «дерево отказов» для сценария А1 (отказ ограждающей дамбы), построенный с учетом практически всех возможных внешних воздействий и внутренних опасностей на карте № 2 ШХ.

Внешние воздействия учтены в «дереве отказов» в виде событий, связанных со сверхрасчетным снеготаянием и интенсивными осадками, а также возможными ледовыми нагрузками на водосбросные сооружения осветленной воды в зимний период.

Развитие аварийного процесса по сценарию А1 характеризует максимальную по уровню риска аварию ГТС карты № 2 шламохранилища. Наиболее вероятными представляются две ветви «дерева отказов» (см. рис. П.2.6), по которым разрушение ограждающей дамбы проходит вследствие:

- перелива воды через гребень дамбы;
- потери фильтрационной прочности тела ограждающей дамбы в районе шахтного колодца.

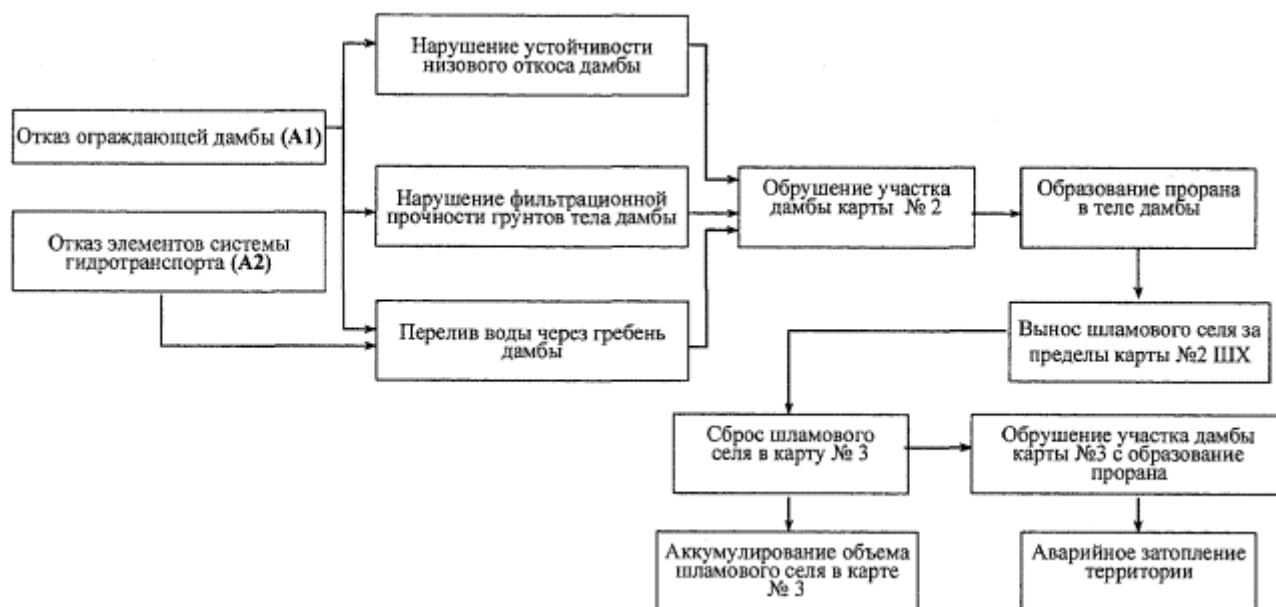


Рис. П.2.5. Блок-схема развития аварийного процесса для сценариев А1 и А2 на карте № 2 шламохранилища

Намеченные пути развития возможных аварий ГТС карты № 2 шламохранилища подтверждаются выполненными расчетами по обоснованию проектной конструкции. Для указанных наиболее вероятных путей развития аварий выполнены расчеты волны прорыва и определена зона затопления в результате отказа ограждающей дамбы карты № 2 с последующим обрушением дамбы карты № 3 и аварийным затоплением территории.

Развитие аварийного процесса по сценарию А2 в конечном итоге приводит к сценарию А1, т. е. к разрушению ограждающей дамбы карты № 2, поэтому схема аварийного процесса по сценарию А2 совмещена со схемой сценария А1, а в «дерево отказов» для сценария А1 включены все возможные отказы конструкций и отдельных элементов системы гидротранспорта, приводящие к возникновению аварии или ЧС.

Качественная оценка риска различных сценариев возникновения и развития аварий ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК выполнена на основе анализа факторов, обуславливающих возможные аварии на декларируемом объекте. Проведенный экспертным путем анализ позволил на качественном уровне ранжировать по уровню риска основные сценарии возможных аварий на карте № 2. Наиболее вероятной и имеющей максимальные последствия является авария, связанная с разрушением ограждающей дамбы карты № 2 с последующим разрушением ограждающей дамбы карты № 3

(сценарий А1), вызванная нарушением фильтрационной прочности тела дамбы, потерей устойчивости откосов дамбы или переливом воды через гребень дамбы карты № 2 в районе расположения шахтных колодцев.

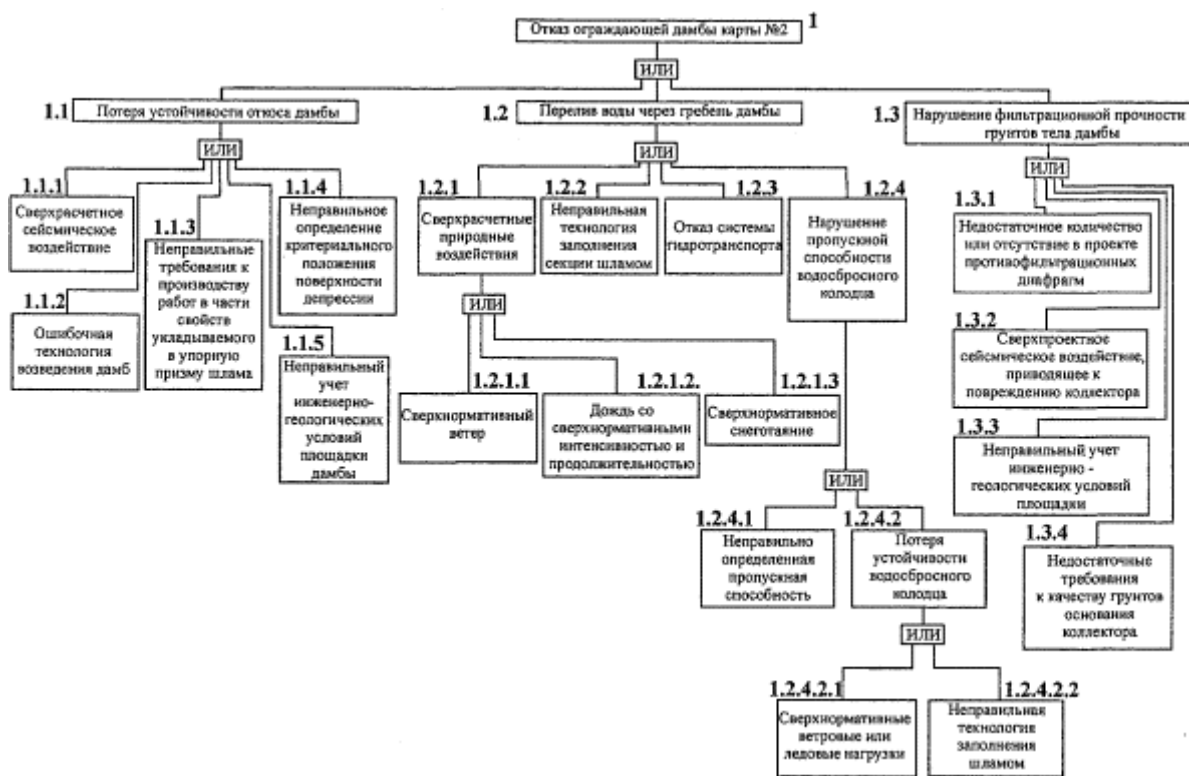


Рис. П.2.6. «Дерево отказов» ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища

При оценке экспертным путем, учитывая, что определяется вероятность аварии проектируемого сооружения, указанные причины возникновения возможной аварии приняты равновероятными. Вероятность реализации наиболее опасного по последствиям сценария возникновения и развития аварии на карте № 2 (сценарий А1 - отказ ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК) определялась по методике, изложенной в Стандарте предприятия ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

На основе выполненных расчетов получены значения среднегодовых вероятностей отказов ограждающей дамбы карты № 2 по трем основным причинам:

- 1) потеря устойчивости откосов дамбы - $P_{ss} \approx 10^{-4}$ 1/год;
- 2) нарушение фильтрационной прочности грунтов тела дамбы - $P_{FE} \approx 10^{-4}$ 1/год;
- 3) нарушение фильтрационной прочности грунтов основания дамбы - $P_{FE} \approx 10^{-5}$ 1/год

Очевидно, что из трех основных возможных причин отказа ограждающей дамбы наиболее вероятными являются нарушение фильтрационной прочности тела дамбы и потеря устойчивости откосов дамб, как имеющие наибольшую ожидаемую частоту аварий в год. Поэтому в качестве оконча-

$$P_{A1} = P_{FE} + P_{ss} = 10^{-4} / \text{год}$$

тельной величины среднегодовой вероятности реализации аварии по сценарию А1 (отказ ограждающей дамбы) принимается суммарная величина частоты отказа тела дамбы по причине нарушения фильтрационной

прочности и устойчивости откосов, что подтверждается ранее выполненной качественной оценкой риска возможных на ограждающей дамбе карты № 2 аварий.

Для оценки вероятности отказов элементов системы гидротранспорта на экспертном уровне использовались данные, полученные в результате анализа материалов по авариям и ЧС, систематизированные в банке данных в ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева».

Выполненная качественная оценка риска возникновения аварии из-за отказа системы гидротранспорта выявила наиболее вероятные причины возникновения подобного события, а именно:

нарушение в работе дренажной системы;

нарушение в системе возврата осветленной воды, в том числе - нарушение в работе водосбросных колодцев.

Наиболее вероятной причиной перелива через гребень дамбы является отказ системы возврата осветленной воды.

Суммарная вероятность отказа системы гидротранспорта по указанным причинам с учетом специфики проектируемого сооружения оценивается экспертным путем как $P_{A2} = 10^{-3}$, что соответствует среднегодовой величине частоты реализации возможной аварии $P_{A2} = 10^{-3} 1/\text{год}$ поэтому за итоговую среднегодовую частоту возникновения возможной аварии карты № 2 шламохранилища принимается величина $P_{A1} = 10^{-4} 1/\text{год}$, что соответствует среднегодовой допускаемой вероятности аварий для сооружений II класса, которая составляет $5,0 \cdot 10^{-4} 1/\text{год}$.

Использование алгоритма оценки вероятности отказа ГТС карты № 2 шламохранилища АГК по методике, изложенной в СТП ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, позволило получить численные значения среднегодовой частоты отказа ГТС карты № 2 и сравнить полученные величины с допускаемой вероятностью возникновения аварий на сооружениях.

Выполненные расчеты по обоснованию конструкции дамбы карты № 2 шламохранилища АГК, а также проведенная качественная и количественная оценка риска возникновения развития различных сценариев возможных аварий сооружений позволили сделать следующие выводы:

наиболее вероятной и наиболее опасной, т. е. имеющей максимальные последствия, является авария, связанная с разрушением ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК, вследствие нарушения фильтрационной прочности тела дамбы, потери устойчивости откосов или перелива через гребень ограждающей дамбы;

поскольку возможные аварии рассматриваются для проектируемого сооружения, для которого факторы, влияющие на вероятность возникновения аварии, учтены в полном объеме, вероятности реализации аварии по причинам нарушения фильтрационной прочности тела дамбы, потери устой-

чивости откосов или перелива через гребень дамбы являются величинами одного порядка, близкими по значению друг другу;

среднегодовая частота реализации такой аварии составляет $10^{-4} 1/\text{год}$, что меньше нормируемой среднегодовой вероятности аварий для сооружения II класса, которая составляет $5,0 \cdot 10^{-4} 1/\text{год}$;

возможная авария на карте № 2 шламохранилища АГК с учетом числа пострадавших, размера материального ущерба и зоны распространения относится к локальной чрезвычайной ситуации.

Все вышеизложенное позволяет считать риск возникновения аварии на ГТС шламохранилища приемлемым, а уровень безопасности декларируемого сооружения - нормальным.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими положениями.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Выполнить качественный анализ риска ГТС, проанализировав причины возникновения аварийной ситуации с учетом общих закономерностей возникновения и развития происшествий.
4. Выполнить качественный и количественный анализ возможных исходов – сценариев развития аварийной ситуации.
5. Сформулировать вывод об уровне безопасности декларируемого объекта ГТС.

Контрольные вопросы

1. Перечислите методы анализа риска, используемые при декларировании безопасности ГТС
2. Какие качественные методы анализа риска, на ваш взгляд, являются наиболее приемлемыми для ГТС?
3. Какие исходные данные необходимы для проведения анализа риска ГТС?

Практическая работа 6.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНОСТЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Цель работы: ознакомить студентов с методикой групповой экспертной оценки производственных опасностей и травматизма. В результате выполнения работы студент должен уметь самостоятельно проводить прогнозирование потенциальных опасностей и травматизма на предприятии.

1. Теоретический раздел

Планирование мероприятий по охране труда неразрывно связано с прогнозированием безопасности труда на предприятии. Важнейшим критерием для оценки безопасности труда является уровень производственного травматизма. Прогнозирование производственного травматизма позволяет значительно повысить эффективность планирования и финансирования мероприятий по охране труда на предприятии и отрасли в целом.

Под прогнозом понимается научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их осуществления. В качестве объектов прогнозирования могут выступать процессы, явления, события и так далее.

Научное прогнозирование - систематическое исследование перспектив развития того или иного явления или процесса с помощью средств современной науки. Другими словами, прогнозирование - это процесс разработки прогноза.

В условиях современного производства на работника может воздействовать большое количество производственных опасностей (опасных и вредных производственных факторов). Результатом воздействия этих опасностей являются травмы и профессиональные заболевания (далее, для компактности изложения материала речь будет идти только о травматизме).

Таким образом, прогнозируя появление производственных опасностей мы прогнозируем, а значит, можем предотвращать травматизм на производстве. Справедливо и обратное утверждение. Если имеются прогнозные данные о травматизме, то можно говорить о возможности разработки прогноза появления опасностей.

В зависимости от имеющихся исходных данных, прогнозирование производственного травматизма (а также и связанных с ним опасностей на производстве) чаще всего осуществляется следующими методами:

- а) экстраполяции;
- б) математико-статистического моделирования; в) экспертных оценок.

Методы экстраполяции основываются на изучении количественных показателей травматизма за ряд предыдущих лет с последующим логическим продолжением тенденции их изменения на прогнозируемый период. В качестве количественных показателей используют: абсолютное число несчастных случаев, показатель частоты, показатель тяжести, общий показатель травматизма и другие показатели.

Количественные показатели берут за период не менее 5 лет и сводят их в таблицу в виде динамического ряда. По этим данным строят график, по которому подбирают вид прогностической кривой (функции), определяющей дальнейший ход изменения уровня травматизма.

Для каждого показателя травматизма необходимо подбирать свои прогностические функции, так как закономерность изменения одного показателя, может не соответствовать закономерности для другого.

Подбор функции для прогнозирования на практике осуществляют методом наименьших квадратов (МНК). Рассмотрим пример.

В таблице 1 приведены данные о состоянии производственного травматизма на предприятии Севастопольский морской рыбный порт (СМРП) [1] в виде динамического ряда.

Таблица 1 - Данные о состоянии травматизма на СМРП

Годы (x)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Количество несчастных случаев (y)	5	5	10	5	11	7	7

По данным таблицы 1 построен график (рисунок 1), по которому подобран вид прогностической функции. Далее, используя МНК, получен полином второй степени (формула (1)), который приближенно может служить прогностической функцией для указанного динамического ряда.

$$y = 2,2832 + 2,5849x - 0,2740x^2. \quad (1)$$

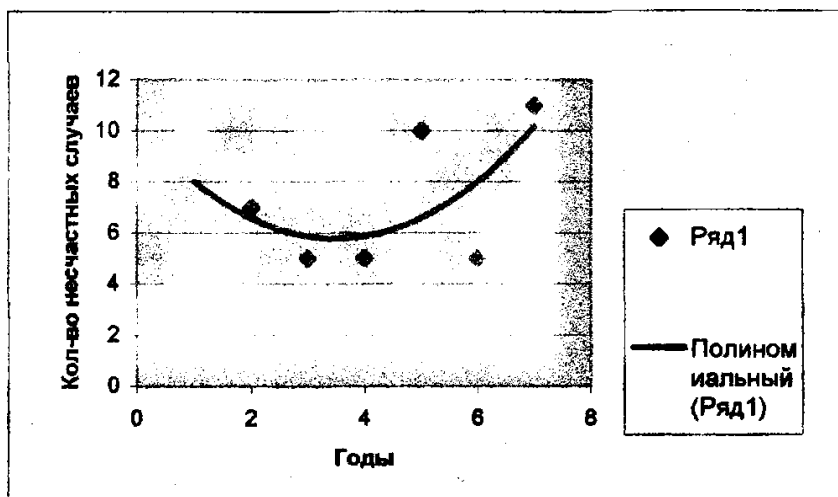


Рисунок 1 - Динамика производственного травматизма на предприятии СМРП

Увеличивая степень прогностического полинома (например, до 5-ой) можно достичь требуемой точности приближения.

Методы математико-статистического моделирования основаны на построении математических моделей травматизма. Такие модели строятся на основании статистической обработки данных (показателей) деятельности

предприятия за предшествующий период. Достаточно часто, для получения математических моделей используют методы теории надежности, при этом, например, вводят показатель вероятности безопасной работы в течение заданного времени $R(t)$. Рассмотрим пример.

По статистическим данным о промежутках времени между случаями травматизма на предприятии «Стрела» получена математико-статистическая модель в виде функции:

$$R(t) = e^{-0.01xt}. \quad (2)$$

Требуется определить вероятность безопасной работы на предприятии за 100 часов.

Решение; по формуле (2) $R(100) = e^{-0.01 \times 100}$. Таким образом, через 100 часов работы на предприятии с вероятностью 0,37 несчастный случай с работником не произойдет, и в тоже время с вероятностью 0,63 следует ожидать случай травматизма.

Методы экспертных оценок используются в тех случаях, когда статистических данных недостаточно, или они вообще отсутствуют (или их невозможно получить).

Определение степени влияния отдельных факторов и условий на безопасность труда является весьма сложной задачей. Большое количество факторов в безопасности жизнедеятельности не поддаются количественному измерению и могут быть оценены только качественными показателями. Например, слабая трудовая дисциплина, недостатки в организации труда, удобство пользования приспособлением и так далее.

Кроме того, факторы, оцениваемые количественно, например уровни шума, освещенность, влажность воздуха имеют разные измерители, не позволяющие непосредственно ответить на вопрос, влияние какого из факторов, будет сказываться на работнике наиболее неблагоприятно.

В этих случаях единственным способом оценки и прогнозирования влияния опасностей на человека становятся методы экспертных оценок.

Экспертная оценка- суждение эксперта или экспертной группы относительно поставленной задачи прогноза.

Эксперт - квалифицированный специалист по конкретной проблеме, привлекаемый для вынесения оценки по поставленной задаче прогноза.

Надежность экспертных оценок основана на предположении, что в случае согласованности действий экспертов достоверность оценок гарантируется.

В большинстве случаев в вопросах безопасности жизнедеятельности используют работу групп экспертов.

Экспертная группа - это коллектив экспертов, сформированный по определенным правилам для решения поставленной задачи прогноза. Частным случаем экспертной группы выступает экспертная комиссия.

В отдельных случаях используют группу из двух экспертов. Экспертные комиссии целесообразно использовать при экспертизе объектов повышенной опасности или технологических процессов, эксплуатация которых сопровождается значительным количеством опасных и вредных производственных факторов.

Это не означает, что следует пренебрегать индивидуальными мнениями отдельных специалистов. Но, как правило, информация, полученная от группы экспертов, после соответствующей обработки оказывается более достоверной и точной.

Надежность решений принимаемых на основе суждений групп экспертов в значительной степени зависит от организации и направленности процедуры сбора, анализа и математической обработки этих суждений. Для этого создается группа аналитиков, в которую могут входить специалисты не только по конкретной проблеме, но и по вопросам смежным с решаемой задачей (например, технологи, конструктора, менеджеры, математики). Особое внимание аналитики должны уделять расчету надежности (компетентности) экспертов по результатам их прошлой деятельности.

Основные этапы экспертных методов сводятся к следующему;

- подбор экспертов и экспертных групп,
- составление перечня вопросов и формирование анкет;
- формирование правил определения оценок экспертов;
- анализ и обработка экспертных оценок.

Поскольку методы экспертных оценок в значительной степени основаны на применении анкетирования, организации этой процедуры следует уделять большое внимание. Анкета в экспертных методах - это определенным образом организованный набор вопросов, ответы на которые рассматриваются как информация о степени уверенности эксперта в вероятности свершения события или в относительной важности оцениваемого свойства.

По своему характеру вопросы, включаемые в анкеты можно разделить на четыре типа:

- 1) вопрос, ответ на который заключается в выборе одного из нескольких точно сформулированных группой аналитиков мнений. Каждому из мнений может быть приписан определенный балл (ранг);
- 2) вопрос о поведении эксперта в конкретной ситуации. Ответы фиксируют наличие или отсутствие определенного действия;
- 3) вопрос, требующий оценить численное значение или вероятность какой-либо величины (фактора);
- 4) вопрос, цель которого замаскирована относительно измеряемой качественной переменной. Измерение заключается в системе оценок, производимых аналитиками в зависимости от ответов, данных экспертами.
- 5) Во многих случаях отбор и самих экспертов и аналитиков производят так же способом анкетирования.

В охране труда и безопасности жизнедеятельности широко применяются три метода групповой (когда эксперты работают в группе) экспертной оценки:

1. метод согласования оценок (согласованной оценки, индивидуальный метод);
2. собственно групповой метод,
3. метод «Дельфи».

Метод согласования оценок заключается в том, что каждый эксперт дает оценку независимо от других, а затем с помощью специальных приемов эти оценки объединяются в одну обобщенную (согласованную). В качестве способа оценивания, наибольшее распространение получил способ ранговых оценок. Его суть заключается в том, что при заполнении анкеты эксперты присваивают фактору, оказывающему наибольшее влияние на безопасность труда, самый высокий ранг-1, другим факторам - ранги 2, 3 и так далее, по мере убывания их влияния. На рисунке 2 приведен вид анкеты для прогнозирования причин травматизма (потенциальных опасностей) на промышленном судне (заполнена i -м экспертом, $i=1,2... 10$).

Данный метод наиболее часто применяется в безопасности жизнедеятельности и поэтому будет подробно рассмотрен ниже.

Групповой метод основан на совместной работе экспертов и получении суммарной оценки от всей группы в целом.

Метод «Дельфи» заключается в том, что индивидуальные оценки согласуются и при этом, каждый эксперт последовательно ознакомляется с оценками всех экспертов.

АНКЕТА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Ф.И.О. эксперта _Семенов Александр Сергеевич_

Какие, по вашему мнению, из перечисленных факторов могут быть наиболее вероятными причинами травм на судне «Байкал» во время рейса.

В зависимости от этого произведите их ранжирование, т.е. какое место по степени влияния вы отводите тому или иному фактору.

Таблица 2 – Вид экспертной анкеты, заполненной i -м экспертом при прогнозировании производственного травматизма на промышленном судне

Номер вопроса	Организационно-технический фактор (причина травматизма)	Ранг, поставленный экспертом R_{ij}
1	Потеря бдительности при переходе по палубе в зоне движения грузов	3
2	Недостаточный обзор в рабочей зоне	6
3	Несогласованность действий исполнителей и организаторов работ	9
4	Нарушение правил и инструкций исполнителями работ	1
5	Недостаточная квалификация (неопытность) работников	5
6	Недостаточный контроль за выполнением требований безопасности труда	2

7	Нарушение эксплуатационных режимов судового оборудования	10
8	Несовершенство конструкций палубных и промысловых устройств	7
9	Неправильная оценка опасной ситуации исполнителями работ	8
10	Наличие негабаритных (стесненных) мест в рабочей зоне	4

Основные принципы, положенные в основу метода это обеспечение анонимности опроса экспертов и наличие обратной связи, регулируемой аналитиками, которая позволяет выявить преобладающие мнения специалистов и сблизить (но не до полного единства) их точки зрения на проблему. Опрос экспертов проводится в несколько туров. После каждого тура производится обработка информации полученной от экспертов. После результатов расчетов аналитики подготавливают документ, в котором указывают (анонимно) основные причины изменений оценок, происшедших в прошедшем туре. Медиа-ана ответов последнего тура принимается за обобщенное мнение экспертов.

Методы экспертных оценок, применяемые в безопасности жизнедеятельности, динамично развиваются и постоянно совершенствуются.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

1.1. Группа из двух экспертов

Анализ и обработка экспертных оценок полученных от группы из двух экспертов поводится в следующем порядке.

На первом этапе строится матрица опроса экспертов, в которую сводятся оценки (ранги) обоих экспертов (таблица 2) и определяется сумма и среднее значение рангов по каждому фактору.

Таблица 2 – Матрица опроса (рангов) двух экспертов

Порядковый номер эксперта	Порядковый номер фактора			
	1	2	...	j
1	R_{11}	R_{12}	...	R_{1j}
2	R_{21}	R_{22}	...	R_{2j}
\sum	$R_{11} + R_{21}$	$R_{12} + R_{22}$...	$R_{1j} + R_{2j}$
\sum_2	$(R_{11} + R_{21})/2$	$(R_{12} + R_{22})/2$...	$(R_{1j} + R_{2j})/2$

Далее, анализируют полученные средние значения рангов и делают предварительный вывод о значимости причин. Наиболее существенным фактором будет фактор с наименьшим средним значением ранга.

На следующем этапе проверяется согласованность мнений экспертов. Для этого можно использовать коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{j=1}^m (R_{1j} - R_{2j})^2}{m^3 - m}.$$

где R_{1j} – ранг, поставленный первым экспертом j -му фактору;
 R_{2j} – ранг, поставленный вторым экспертом j -му фактору;
 m – количество факторов.

Значение коэффициента корреляции Спирмена ρ может изменяться от -1 до +1. Если $\rho = 0$, то между экспертами нет согласованности во мнении. При значении ρ близком к +1, оценки экспертов согласуются, а при значении близком к -1 их мнения противоположны.

Если оценки экспертов не согласованы или их мнения противоположны, то необходимо прибегнуть к новой экспертизе с большим количеством экспертов.

Необходимо также установить значимость полученного коэффициента ρ . Для этого определяют критическую точку $T_{кр}$ по формуле:

$$T_{кр} = t_{кр}(m-2, \alpha) \cdot \sqrt{\frac{(1-\rho^2)}{m-2}}, \quad (3)$$

где $t_{кр}(m-2, \alpha)$ – величина, определяемая по таблице распределения Стьюдента (Приложение А);

m – количество факторов;

α – доверительная вероятность (часто принимаемая $\alpha = 0,05$);

ρ – значение коэффициента корреляции Спирмена, найденное по формуле (2).

После чего сравнивают значение ρ со значением $T_{кр}$. Если выполняется условие $\rho \geq T_{кр}$, то полученный коэффициент ранговой корреляции Спирмена ρ значим и ему можно доверять.

Для оценки согласованности мнений экспертов можно использовать также коэффициент ранговой корреляции Кендалла.

1.2. Группа из трех и более экспертов

На первом этапе, результаты опроса экспертов сводятся в матрицу опроса (таблица 3) и вычисляется и вычисляется сумма рангов по каждому фактору.

Анализируя полученные результаты, делают предварительные выводы о значимости факторов. Наиболее существенным фактором будет фактор с наименьшей суммой рангов. Для большей наглядности целесообразно построить диаграмму рангов.

На втором этапе оценивают согласованность мнений экспертов с помощью коэффициента корреляции W (формула (4)). Значения этого коэффициента лежат в пределах $0 \leq W \leq 1$. Чем ближе значения коэффициента W к 1, тем сильнее согласованность мнений экспертов.

Таблица 3 – Матрица опроса (рангов) n экспертов

Порядковый номер респондента	Порядковый номер объекта (признака)						
	1	2	3	...	j	...	m
1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	...	R_{1j}	...	R_{1m}
2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	...	R_{2j}	...	R_{2m}
...
i	R_{i1}	R_{i2}	R_{i3}	...	R_{ij}	...	R_{im}
...
n	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	...	R_{nj}	...	R_{nm}

Значения коэффициента конкордации W находят из выражения (4):

$$W = \frac{12 \times \sum_{i=1}^n \left| \sum_{j=1}^m (R_{ij}) - \frac{1}{2} \times n \times (m+1) \right|^2}{n^2 \times (m^3 - m)} \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^n (R_{ij})$ - сумма рангов по каждому фактору;

m – количество факторов;

n – количество экспертов.

Далее, необходимо оценить значимость коэффициента W . Оценку значимости проводят в следующей последовательности:

1) Рассчитывают фактическое значение критерия Пирсона χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = n \times (m-1) \times W. \quad (5)$$

В формуле (5) те же обозначения, что и в выражении (4).

2) По таблице распределения Пирсона (Приложение Б) находят критическое значение $\chi^2_{кр} = (m - 1, \alpha)$.

3) Сравнивают фактическое и критическое значения. Если фактическое значение χ^2 превышает критическое $\chi^2_{кр} = (m - 1, \alpha)$, то коэффициенту конкордации W нужно доверять.

Если оценки экспертов не согласованы, то необходимо прибегнуть к методу «Дельфи».

Примечание. В анкете приведенной на рисунке 2, а также в таблицах 2 и 3 ранги, указанные одним экспертом не повторяются. В тех случаях, когда эксперт присвоил разным факторам одинаковые ранги, при обработке анкет ранги необходимо нормализовать. При этом, вид формулы (4) для подсчета коэффициента конкордации W изменится.

ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НА ЗАНЯТИИ

Задача 4.1

Предварительный анализ проведенный на промышленном предприятии показал, что аварийная ситуация может произойти по 10 причинам. Группой из двух экспертов сделан прогноз относительно наиболее вероятных причин аварии на этом объекте в текущем году. Наиболее вероятной причине аварии эксперты присваивали ранг 1, а наименее вероятной - ранг 10.

Матрица опроса экспертов приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица опроса экспертов

№ эксперта	Номер возможной причины аварии									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	4	10	3	2	8	9	1	7	5
2	5	4	9	11	3	10	8	2	6	7

Требуется проанализировать и обработать ответы экспертов.

Задача 4.2

По решению руководства предприятия в группу добавили еще восемь наиболее надежных экспертов. Ответы этих экспертов были добавлены к таблице 4. Матрица опроса десяти экспертов представлена в таблице 5.

Требуется:

1. проанализировать и обработать ответы десяти экспертов;
2. сравнить результаты обработки ответов двух и десяти экспертов.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Преподаватель, выступая в роли аналитика, формирует из студентов экспертную группу. Каждому студенту выдается анкета, вид которой показан на рисунке 3.

Таблица 5 - Матрица опроса десяти экспертов к задаче 3.2

№ экспер- та	Номер возможной причины аварии									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	4	10	3	2	8	9	1	7	5
2	5	4	9	1	3	10	8	2	6	7
3	6	3	9	5	2	8	10	1	4	7
4	7	1	10	6	3	9	8	2	4	5
5	7	6	10	5	2	8	9	3	1	4
6	8	7	9	4	1	6	10	5	2	3
7	6	2	10	3	5	9	7	4	1	8
8	5	1	8	4	2	10	9	3	7	6
9	2	5	10	1	3	8	9	4	6	7
10	7	5	9	4	2	6	10	1		3

АНКЕТА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Ф.И.О. эксперта

В каких, по вашему мнению, из ниже перечисленных направлений государственного надзора в России будет сохраняться наиболее высокий уровень травматизма.

В зависимости от этого произведите их ранжирование, т.е. какое место по уровню травматизма Вы отводите тому или иному направлению надзора.

Таблица 3 – Вид экспертной анкеты, заполняемой студентом-экспертом при выполнении индивидуального расчетно-практического задания

Номер вопроса	Направление государственного надзора (по которому наблюдается травматизм)	Ранг, поставленный экспертом R _{ij}
1	Энергетика	
2	Строительство	
3	Машиностроение	
4	Металлургическая промышленность	
5	Химическая промышленность	
6	Транспорт	
7	Связь	

8	Агропромышленный комплекс	
9	Социально-культурная сфера	
10	Угольная промышленность	

Студент, выступая в роли эксперта должен заполнить анкету (совещаться между собой не разрешается). В анкете указаны некоторые направления, по которым проводится государственный надзор за состоянием производственного травматизма в России.

Требуется оценить (спрогнозировать), в каких из указанных отраслей следует ожидать наибольший уровень травматизма.

При заполнении анкеты студенты-эксперты присваивают каждому направлению свой ранг, Направлению надзора, в котором, по их мнению, следует ожидать наибольший уровень травматизма, присваивается самый высокий ранг-1, другим направлениям - ранги 2, 3 и так далее.

Затем преподаватель собирает все заполненные анкеты и организует обработку данных анкетирования. В результате проведенной работы необходимо:

- построить диаграмму рангов;
- оценить согласованность ответов экспертов;
- оценить значимость коэффициента W.

Если оценки экспертов не согласованны, то следует провести еще один тур экспертизы, для чего из группы студентов выбрать двух наиболее компетентных экспертов, чьи оценки (ранги) по наиболее травмоопасным направлениям надзора были наименьшими.

Полученные результаты экспертизы сравнить со статистическими данными, приведенными в приложения В.

3. **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет о практическом занятии должен содержать:

1. Название и цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Решение типовых задач с необходимыми пояснениями.
4. Выполненное индивидуальное расчетно-практическое задание.
5. Выводы.

Отчет выполняется на листах формата А-4, которые скрепляются с левой стороны при помощи степлера. Текст пишется с одной стороны листа, шариковой ручкой черного или синего цвета. Размеры полей на листе: левое - 20мм, правое, верхнее и нижнее - 10мм. Отчет должен иметь титульный лист, на котором указывается название университета и кафедры, название учебной дисциплины и практического занятия, фамилия, имя и отчество студента, а также шифр учебной группы.

Контрольные вопросы

1. Что такое прогноз и научное прогнозирование?
2. Какие методы прогнозирования опасностей и производственного травматизма вы знаете? В чем преимущество и недостатки методов экспертной оценки?
3. В чем заключается метод экстраполяции при прогнозировании производственного травматизма?
4. В чем заключается метод математико-статистического моделирования при прогнозировании производственного травматизма?
5. .Перечислите основные этапы экспертных методов.
6. В чем заключается ранжирование?
7. Что представляет собой анкета в экспертных методах?
8. Какие типы вопросов могут включаться в экспертные анкеты?
9. Что такое экспертная оценка? От чего зависит надежность решений принимаемых экспертными группами?
10. Перечислите основные этапы анализа и обработки экспертных оценок полученных от группы из двух экспертов.
11. Перечислите основные этапы анализа и обработки экспертных оценок полученных от группы из трех и более экспертов.
12. Как рассчитывается коэффициент ранговой корреляции Спирмена.
13. Что показывает коэффициент конкордации XV .
14. Какие методы экспертных оценок используются в безопасности жизнедеятельности и охране труда?

ПРИЛОЖЕНИЕ А
/справочное/

Таблица А.1 – Критические точки распределения Стьюдента

Число степеней свободы, m	Уровень значимости α		Число степеней свободы, m	Уровень Значимости α	
	0,05	0,01		0,05	0,01
1	12,7	63,6	16	2,1	2,9
2	4,3	9,9	17	2,1	2,8
3	3,1	5,8	18	2,1	2,8
4	2,7	4,6	19	2,0	2,8
5	2,5	4,0	20	2,0	2,8
6	2,4	3,7	21	2,0	2,8
7	2,3	3,5	22	2,0	2,8
8	2,3	3,3	23	2,0	2,8
9	2,2	3,2	24	2,0	2,7
10	2,2	3,1	25	2,0	2,7
11	2,2	3,1	26	2,0	2,7
12	2,2	3,0	27	2,0	2,7
13	2,1	3,0	28	2,0	2,7
14	2,1	2,9	29	2,0	2,7
15	2,1	2,9	30	2,0	2,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
/справочное/

Таблица Б.1 – Критические значения распределения χ^2

Число степеней свободы, m	Уровень значимости α		Число степеней свободы, m	Уровень Значимости α	
	0,05	0,01		0,05	0,01
1	3,841	6,635	16	26,296	32,000
2	5,991	9,210	17	27,587	33,409
3	7,815	11,345	18	28,869	34,805
4	9,488	13,277	19	30,144	36,191
5	11,070	15,086	20	31,410	37,566
6	12,592	16,812	21	32,671	38,932
7	14,067	18,475	22	33,924	40,289
8	15,507	20,090	23	35,172	41,638
9	16,919	21,666	24	36,415	42,980
10	18,307	23,209	25	37,652	44,314
11	19,675	24,725	26	38,885	45,642
12	21,026	26,217	27	40,113	46,963
13	22,362	27,688	28	41,337	48,278
14	23,685	29,141	29	42,557	49,588
15	24,996	30,578	30	43,773	50,892

ПРИЛОЖЕНИЕ В

/справочное/

Таблица В.1 – Данные о состоянии производственного травматизма в России

№	Направления государственного контроля	Количество несчастных случаев всего	
		2019	2020
1	Энергетика	376	413
2	Строительство	1214	1334
3	Машиностроение	2353	2375
4	Металлургическая промышленность	1028	1183
5	Химическая промышленность	448	476
6	Транспорт	954	985
7	Связь	164	134
8	Агропромышленный комплекс	2907	2938
9	Социально-культурная сфера	1737	1849
10	Угольная промышленность	7778	9218

Основная литература

1. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для бакалавров вузов / С. В. Белов .— 2-е изд., испр. и доп .— М. : Юрайт, 2011 .— 681с. : ил .— (Основы наук) .— Дар Изд-ва "Юрайт" ТулГУ : 1325385 .— Библиогр.: с. 680 .— ISBN 978-5-9916-0945-6 (Изд-во Юрайт) .— ISBN 978-5-9692-1021-9 (ИД Юрайт) .

Дополнительная литература

1. Трифонов К.И. Физико-химические процессы в техносфере : учебник для вузов / К. И. Трифонов, В. А. Девисилов .— М. : Форум : Инфра-М, 2007 .— 240 с. — (Высшее образование) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-91134-081-X
2. Лебедев А.М. Тульский государственный университет Методы оптимального управления пожарным риском производственных объектов / А. М. Лебедев, А. А. Кузнецов, Е. А. Машинцов ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2007 .— 180 с. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7679-1174-5
3. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие для вузов / В. Н. Павлов [и др.] .— М. : Академия, 2008 .— 336 с. : ил. — (Высшее профессиональное образование : Радиотехника) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7695-2991-7
4. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Э. А. Арустамов [и др.] ; под ред. Э. А. Арустамова .— 15-е изд., перераб и доп. — М. : Дашков и К, 2009 .— 452 с. : ил. — Библиогр.: с.449-451 .— ISBN 978-5-394-00181-9
5. Глебова Е. В. Производственная санитария и гигиена труда : учеб. пособие для вузов / Е. В. Глебова .— 2-е изд., перераб. и доп .— М. : Высш. шк., 2007 .— 382 с. : ил. — Библиогр.: с. 380-381 .— ISBN 978-5-06-004897-1
6. Зотов Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве : учебник для вузов / Б.И.Зотов, В.И.Курдюмов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : КолосС, 2006 .— 432с. : ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-9532-0094-3
7. Кравчяня, Э.М. Охрана труда и основы энергосбережения : учеб. пособие для вузов / Э.М.Кравчяня, Р.Н.Козел, И.П.Свирид .— 3-е изд. — Минск : ТетраСистемс, 2006 .— 288с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 985-470-482-3
8. Фейгин С.Д. Управление безопасностью производства с использованием методологии анализа риска : учебно-методическое пособие /

- С.Д.Фейгин, А.А.Кузнецов, Е.В.Финогенова; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2004 .— 96с. — ISBN 5-7679-0445-6
9. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере : Учеб.пособие для вузов / П.Г.Белов .— М. : Академия, 2003 .— 512с. — (Высш.проф. образование) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-7695-1039-0
- 10.Соколов Э.М. Информационные технологии в безопасности жизнедеятельности : учебник для вузов / Э.М.Соколов,В.М.Панарин,Н.В.Воронцова .— М. : Машиностроение, 2006 .— 238с. : ил. — (Для вузов) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-217-03331-2

Периодические издания

1. Безопасность жизнедеятельности : Науч.-практ.и учеб.-метод.журнал .— М. : Новые технологии
2. Федеральная служба по экологическому,технологическому и атомному надзору. Безопасность труда в промышленности : Ежемесячный массовый научно-производственный журнал широкого профиля / Госгортехнадзор России.— М. : Недра,
3. Охрана труда и социальное страхование : ежемесячный журнал .— М. : ЗАО Редакц.ж-ла "Охрана труда и соцстрахование", 1995- .— Издается с 1913г. — ежемесячно .— ISSN 0131-2618.
4. Справочник специалиста по охране труда .— М., 2002 - .— ISSN 1727-6608.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.nacot.ru> - "Национальная ассоциация центров по охране труда".
2. <http://www.tehdok.ru/> - Интернет-проект Техдок.ру - Форум специалистов по охране труда.
3. <http://niiot.net/> - Сообщество экспертов по охране труда на базе НИИ Охраны труда СРГУ (СПб).
4. <http://www.otiss.ru/> - Журнал "Охрана труда и социальное страхование"
5. <http://tehbez.ru/> - Журнал "Охрана труда в предпринимательстве".
6. <http://ipb.mos.ru/ttb/> - Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности".
7. <http://novtex.ru/bjd/> - Журнал "Безопасность жизнедеятельности".
8. <http://niiot.ru/> - сайт Санкт-Петербургского научно-исследовательского института охраны труда.
9. <http://www.ohsi.ru> АНО "Институт безопасности труда".
10. <http://otpbos.ru/> - Информационное агентство "Охранная грамота"
11. <http://www.trudohrana.ru/> - Журнал "Справочник специалиста по охране труда".
12. <http://www.btpnadzor.ru/> - Журнал "Безопасность труда в промышленности".

13. <http://www.chelt.ru/> - Журнал "Человек и труд"
14. <http://www.dvkuot.ru/> - Клуб инженеров по охране труда.
15. <http://www.ohranatruda.ru/> - Информационный портал для инженеров по охране труда.
16. <http://www.complexdoc.ru/> - База нормативных документов и технических стандартов.