

Министерство образования и науки РФ
Иркутский государственный технический университет

С.С. Тимофеева

**МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ
АВАРИЙНЫХ РИСКОВ**

Практикум

Издательство
Иркутского государственного технического университета
2015

УДК 658.345

Т 41

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИрГТУ

Рецензенты:

доктор биологических наук профессор кафедры гидробиологии ИрГТУ

Д.И. Стом;

канд. техн. наук доцент кафедры экологии и БЖД ИрГУПС

С.Е. Съемщиков

Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки аварийных рисков
: практикум. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2015. – 155 с.

Практикум соответствует требованиям ФГОС-3 для подготовки магистрантов по направлению «Техносферная безопасность».

В практикуме предлагаются практические работы по методам и технологиям оценки аварийных рисков. Отражены современные достижения в области оценки аварийных рисков. Рассмотрены теоретические и практические сведения об аварийных опасностях. Представлен перечень действующих нормативно-правовых документов по оценке рисков.

Практикум предназначен для магистрантов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность», также слушателями курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров, специалистов по охране труда промышленных предприятий и широкого круга заинтересованных читателей.

© Тимофеева С.С., 2015

© Иркутский государственный
технический университет, 2015

Введение

Область профессиональной деятельности выпускников по направлению подготовки «Техносферная безопасность» включает обеспечение безопасности человека в современном мире, формирование комфортной для жизни и деятельности человека техносферы, минимизацию техногенного воздействия на природную среду, сохранение жизни и здоровья человека за счет использования современных технических средств, методов контроля и прогнозирования.

Данное практическое пособие разработано в соответствии с требованиями направления подготовки. В настоящем пособии приведены расчетные работы, позволяющие магистрантам вузов освоить современные методы оценки аварийных рисков, анализировать и оценивать степень опасности аварийных ситуаций на человека и среду обитания. Освоение методов расчетов аварийных рисков позволит магистрантам формировать умение и способности прогнозировать, определять зоны повышенного техногенного риска и зоны повышенного загрязнения, реализовывать на практике в конкретных условиях известные мероприятия (методы) по защите человека в техносфере.

Практикум предназначен для магистрантов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность», профилю подготовки «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» программа «Народосбережение. Управление профессиональными, экологическими и аварийными рисками».

Практикум может быть полезен бакалаврам и магистрантам технических специальностей, а также специалистам различных предприятий.

Общие методические указания к практическим работам

Приведенные в пособии практические работы рассчитаны на двухчасовые занятия в аудитории подготовленных магистров. Работы могут выполняться одновременно несколькими звеньями магистров по отдельным заданиям.

Для выполнения расчетных работ магистрам выдаются необходимые методические указания и, в случае необходимости, дополнительные справочные и нормативные материалы. Выполненная работа предоставляется преподавателю в виде отчета установленной формы (см. форму отчета).

ОТЧЕТ

по практической работе

(указываются тема работы и номер задания)

- 1. Цель и задачи работы.*
- 2. Краткое описание сущности методики исследований/расчетов*
- 3. Таблицы с результатами исследований/расчетов.*
- 4. Расчеты.*
- 5. Графики.*
- 6. Выводы по работе.*

Работу выполнил

студент группы

Ф.И.О.

Проверил

Ф.И.О.

Полностью оформленный отчет представляется преподавателю на проверку и защиту выполненной работы.

1. Теоретические основы оценки аварийных рисков

1.1. Основные понятия аварийных рисков

Понятия, источники, причины классификация, стадии развития техногенных опасных и чрезвычайных ситуаций

Опасность – объективно существующая возможность негативного воздействия на объект или процесс, в результате которого может быть причинен какой-либо ущерб, вред, ухудшающий состояние, придающий развитию нежелательные динамику или параметры (характер, темп, формы и т. д.); состояние, когда не обеспечена защищенность жизненно важных средств субъектов от возможности снижения пользы или причинения вреда.

Опасность техногенная – состояние внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое либо в виде поражающих воздействий источника техногенной опасности на человека и окружающую среду при его возникновении, либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации объектов [2].

Опасность существует всегда, даже в состоянии нормальной эксплуатации технических объектов или в повседневной жизнедеятельности.

Мерой опасности является *риск* – величина, учитывающая как вероятность появления опасности, так и наносимый ею ущерб (вред), у.е./год:

$$R = W \cdot Y, \quad (1.1)$$

где W – частота, т. е. вероятность появления опасности за определенный промежуток времени, обычно один год, год⁻¹; Y – величина наносимого ущерба, выражаемая в рублях, долларах, условных единицах.

Рассмотрим количественные показатели риска [2].

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

Потенциальный риск – ожидаемая частота поражения определенной тяжести реципиента в результате воздействия совокупности поражающих факторов всех возможных источников чрезвычайной ситуации при условии постоянного нахождения реципиента в этой точке.

Индивидуальный риск – частота поражения определенной тяжести представителя выделяемой категории реципиентов в данной точке в результате воздействия совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации с учетом доли времени нахождения в рассматриваемой точке территории за выбранный период, особенностей физиологического восприятия негативного воздействия, адекватности действий при чрезвычайной ситуации, наличия и эффективности систем защиты от соответствующего поражающего фактора.

Коллективный риск – сумма произведений индивидуальных рисков на число реципиентов, подвергшихся этому риску.

Социальный риск – зависимость частоты событий, в которых пострадало на том или ином уровне число людей, больше определенного числа людей.

Приемлемый риск – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений развития общества. Понятие приемлемого риска было введено в 1981 г. Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ), и в настоящее время только одна страна – Нидерланды – законодательно зафиксировала величину приемлемого риска $R_{пр} = 1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, т. е. недопустимо никакое строительство, модернизация, проектирование, если допустима вероятность гибели одного человека из миллиона. Приемлемый риск в промышленности России составляет 10^{-4} год⁻¹, т. е. на два порядка выше, чем в Нидерландах.

Анализ риска – процесс идентификации опасностей и оценки риска для отдельных лиц или групп населения, имущества или окружающей среды.

Оценка риска – процесс, используемый для определения степени риска анализируемой опасности для здоровья человека, имущества или окружающей среды. Оценка риска предусматривает анализ частоты появления события, последствий его появления и их сочетания.

Опасная ситуация при определенных условиях может перерасти в чрезвычайную.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [3].

В ГОСТ Р 22.0.02–94 [4] термин *чрезвычайная ситуация* трактуется как состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Техногенная чрезвычайная ситуация (ТЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника ТЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде (ГОСТ Р 22.0.05–94) [2].

Источник техногенной чрезвычайной ситуации – опасное техногенное происшествие, в результате которого на объекте, определенной территории или акватории, произошла ТЧС [2].

Опасность в чрезвычайной ситуации – состояние, при котором создалась или вероятна угроза возникновения поражающих факторов и воздействий источника ЧС на население, объекты экономики и окружающую среду.

Защищенность в чрезвычайной ситуации – состояние, при котором предотвращают, преодолевают или предельно снижают негативные последствия возникновения потенциальных опасностей в ЧС для населения, объектов экономики и окружающей среды.

Зона чрезвычайной ситуации – территория или акватория, на которой в результате возникновения источника ЧС или распространения его последствий из других районов возникла ЧС.

Прогнозирование ЧС – опережающее отражение возникновения и развития ЧС на основе анализа возможных причин ее возникновения, ее источника в прошлом и настоящем.

Потенциально опасный объект – объект, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаро- и взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающую реальную угрозу возникновения источника ЧС.

Экстремальное событие – это отклонение от нормы процессов или явлений.

Авария – это экстремальное событие техногенного характера, происшедшее по конструктивным, производственным, технологическим или эксплуатационным причинам, либо из-за случайных внешних воздействий, и заключающееся в повреждении, выходе из строя, разрушении технических устройств или сооружений.

Крупная авария, как правило, с человеческими жертвами является *катастрофой*.

Производственная или транспортная катастрофа – это крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, значительный материальный ущерб и другие тяжелые последствия.

Опасное природное явление – это стихийное событие природного происхождения, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности может вызвать отрицательные последствия для жизнедеятельности людей, экономики и природной среды.

Стихийное бедствие – это катастрофическое природное явление (или процесс), которое может вызвать многочисленные человеческие жертвы, значительный материальный ущерб и другие тяжелые последствия.

Экологическая катастрофа (экологическое бедствие) – чрезвычайное событие особо крупных масштабов, вызванное изменением (под воздействием антропогенных факторов) состояния суши, атмосферы, гидросферы и биосферы, сопровождающееся массовой гибелью живых организмов и экономическим ущербом.

Предупреждение чрезвычайной ситуации – совокупность мероприятий, проводимых органами исполнительной власти Российской Федерации и субъектов РФ, органами местного самоуправления и организационными структурами Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и направленных на предотвращение ЧС и уменьшение их масштабов в случае возникновения [4].

Предотвращение чрезвычайной ситуации – комплекс правовых, организационных, экономических, инженерно-технических, эколого-защитных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических и специальных мероприятий, направленных на организацию наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды и потенциально опасных объектов, прогнозирования и профилактики возникновения источников ЧС, а также на подготовку к ЧС [4].

Важным в проблеме предотвращения ЧС является управление риском, которое происходит на основе экспертизы безопасности, осуществляемой с использованием критериев безопасности человека, окружающей среды и общества.

Критерии безопасности устанавливаются на основе концепции устойчивого развития (Рио-де-Жанейро, 1992 г, Российская Федерация, 1994 г.), целей социально-экономического развития, целей безопасности и принципов приемлемости.

Критерий безопасности (КБ) – некоторая величина (параметр), ограничивающая сверху негативное воздействие опасных и вредных факторов среды обитания на объект опасности так, чтобы его состояние не отклонялось от существующего более чем на заданную величину.

Для человека, как объекта опасности, существует индивидуальный критерий безопасности (ИКБ), для общества – социальные, правовые, демографические, технические КБ, для окружающей среды – биологические, экологические, ландшафтные, географические и др.

Индивидуальный критерий безопасности (медицинский или санитарно-гигиенический) ограничивает сверху негативное воздействие среды обитания на человека. В качестве частных ИКБ используются общеизвестные величины – ПДК (ограничивает уровень токсического воздействия и запыленности), эффективную дозу радиационного воздействия $E_{эфф}$ (радиационное воздействие), интенсивность шума L_a (акустическое воздействие) и т. п.

При выборе *технического критерия безопасности* (ТКБ) могут быть использованы разные подходы в зависимости от того, что является приоритетным: *здоровье человека* (в Великобритании – недопустимость аварий с гибелью более 100 человек), *окружающая среда* (аварии, при которых более 5 % различных видов животных подвергаются негативному воздействию), *технические системы* (аварии с расплавлением активной зоны ре-

актора, т. е. «запроектированные» радиационные аварии, аварии, сопровождающиеся взрывами и т. п.).

Классификация объектов экономики по потенциальной опасности

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [5] *опасными производственными объектами* являются предприятия или их цехи, участки, а также иные производственные объекты, на которых:

а) получают, используют, перерабатывают, образуют, хранят, транспортируют, уничтожают следующие опасные вещества:

- *воспламеняющиеся вещества* – газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20оС или ниже;

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

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

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

- *токсические вещества* – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить их к гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок – от 15 до 200 мг/кг массы тела,

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу – от 50 до 400 мг/кг массы тела,

- средняя смертельная концентрация в воздухе – от 0,5 до 2 мг/л;

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

- средняя смертельная доза при введении в желудок – не более 15 мг/кг массы тела,

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу – не более 50 мг/кг массы тела,

- средняя смертельная концентрация в воздухе – не более 0,5 мг/л;

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

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 ч – не более 10 мг/л;
- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 ч – не более 10 мг/л;
- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 ч – не более 10 мг/л.

б) используют оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 °С;

в) применяют стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры;

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

д) ведут горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

Для опасных производственных объектов (ОПО) обязательно лицензирование деятельности, сертификация применяемых технологических устройств на соответствие требованиям промышленной безопасности, страхование ответственности за причинение вреда жизни, здоровью или имуществу других лиц и окружающей среде в случае аварии и для особо опасных производств декларирование безопасности.

Основные причины возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций и техногенных аварий

Чрезвычайные ситуации возникают при стихийных явлениях (землетрясениях, наводнениях, оползнях и т. п.) и при техногенных авариях. В наибольшей степени аварийность свойственна угольной, горнорудной, химической, нефтегазовой и металлургической отраслям промышленности, геологоразведке, объектам котлонадзора, газового и подъемно-транспортного хозяйства, а также транспорту.

Основными причинами возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций являются:

- нерациональное размещение потенциально опасных объектов производственного назначения, хозяйственной и социальной инфраструктуры;
- технологическая отсталость производства, низкие темпы внедрения ресурсо-энергосберегающих и других технически совершенных и безопасных технологий;
- износ средств производства, достигающий в ряде случаев предаварийного уровня;
- увеличение объемов транспортировки, хранения, использования опасных или вредных веществ и материалов;

- снижение профессионального уровня работников, культуры труда, уход квалифицированных специалистов из производства, проектно-конструкторской службы, прикладной науки;
- низкая ответственность должностных лиц, снижение уровня производственной и технологической дисциплины;
- недостаточность контроля за состоянием потенциально опасных объектов;
- ненадежность системы контроля за опасными или вредными факторами;
- снижение уровня техники безопасности на производстве, транспорте, в энергетике, сельском хозяйстве;
- отсутствие нормативно-правовой базы страхования техногенных рисков.

Возникновение чрезвычайных ситуаций в промышленных условиях и в быту часто связано с *разгерметизацией систем повышенного давления* (баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газо- и водопроводов, систем теплоснабжения и т. п.).

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия; старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; ошибки обслуживающего персонала; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах.

Разрушение или разгерметизация систем повышенного давления в зависимости от физико-химических свойств рабочей среды может привести к появлению одного или комплекса поражающих факторов:

- *ударная волна* (последствия – травматизм, разрушение оборудования и несущих конструкций и т. д.);
- *возгорание зданий, материалов* (последствия – термические ожоги, потеря прочности конструкций и т. д.);
- *химическое загрязнение окружающей среды* (последствия – удушье, отравление, химические ожоги и т. д.);
- *загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами*.

Чрезвычайные ситуации возникают также в результате нерегламентированного хранения и транспортирования взрывчатых веществ, легко воспламеняющихся жидкостей, химических и радиоактивных веществ, переохлажденных и нагретых жидкостей и т. п. Следствием нарушения регламента операций являются взрывы, пожары, проливы химически активных жидкостей, выбросы газовых смесей.

При взрывах поражающий эффект возникает в результате воздействия элементов (осколков) разрушенной конструкции, повышения давления в замкнутых объемах, направленного действия газовой или жидкостной струйки, действия ударной волны, а при взрывах большой мощности

(например, ядерный взрыв) вследствие светового излучения и электромагнитного импульса.

Наибольшую опасность представляют *аварии на объектах ядерной энергетики и химического производства*. Так, авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС в первые дни после аварии привела к повышению уровней радиации над естественным фоном до 1000 – 1500 раз в зоне около станции и до 10 – 20 раз в радиусе 200 – 250 км. При авариях все продукты ядерного деления высвобождаются в виде аэрозолей (за исключением редких газов и йода) и распространяются в атмосфере в зависимости от силы и направления ветра. Размеры облака в поперечнике могут изменяться от 30 до 300 м, а размеры зон загрязнения в безветренную погоду могут иметь радиус до 180 км при мощности реактора 100 МВт.

Одной из распространенных причин пожаров и взрывов особенно на объектах нефтегазового и химического производства и при эксплуатации средств транспорта являются *разряды статического электричества*.

Статическое электричество – совокупность явлений, связанных с образованием и сохранением свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых веществ.

Причиной возникновения статического электричества являются процессы электризации. Естественное статическое электричество образуется на поверхности облаков в результате сложных атмосферных процессов. Заряды атмосферного (естественного) статического электричества образуют потенциал относительно Земли в несколько миллионов вольт, приводящий к поражениям молнией.

В промышленности процессы электризации возникают при дроблении, измельчении, обработке давлением и резанием, разбрызгивании (распылении), просеивании и фильтрации материалов-диэлектриков и полупроводников, т. е. во всех процессах, сопровождающихся трением (перекатка, транспортирование, слив жидкостей-диэлектриков и т. д.). Величина потенциалов зарядов искусственного статического электричества значительно меньше атмосферного.

Искровые разряды искусственного статического электричества – частые причины пожаров, а искровые разряды атмосферного статического электричества (молнии) – частые причины более крупных чрезвычайных ситуаций. Они могут стать причиной как пожаров, так и механических повреждений оборудования, нарушений на линиях связи и энергоснабжения отдельных районов.

Большую опасность разряды статического электричества и искрение в электрических цепях создают в условиях повышенного содержания горючих газов (например, метана в шахтах, природного газа в жилых помещениях) или горючих паров и пылей в помещениях.

В чрезвычайных ситуациях *проявление первичных негативных факторов* (землетрясение, взрыв, обрушение конструкций, столкновение

транспортных средств и т. п.) может вызвать *цепь вторичных негативных воздействий* (эффект «домино») – пожар, загазованность или затопление помещений, разрушение систем повышенного давления, химическое, радиоактивное и бактериальное воздействие и т. п. Последствия (число травм и жертв, материальный ущерб) от действия вторичных факторов часто превышают потери от первичного воздействия. Характерным примером этому является авария на Чернобыльской АЭС.

Основными причинами крупных техногенных аварий являются:

- отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации (многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них весьма высока и оценивается величиной риска 10 и более;
- ошибочные действия операторов технических систем (статистические данные показывают, что более 60 % аварий произошло в результате ошибок обслуживающего персонала);
- концентрация различных производств в промышленных зонах без должного изучения их взаимовлияния;
- высокий энергетический уровень технических систем;
- внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта и др.

Классификация чрезвычайных ситуаций

Всю совокупность возможных чрезвычайных ситуаций целесообразно первоначально разделить на *конфликтные* и *бесконфликтные* [2].

К конфликтным чрезвычайным ситуациям, прежде всего, могут быть отнесены военные столкновения, экономические кризисы, экстремистская политическая борьба, социальные взрывы, национальные и религиозные конфликты, терроризм, разгул уголовной преступности, крупномасштабная коррупция и др.

Бесконфликтные чрезвычайные ситуации, в свою очередь, могут быть классифицированы (систематизированы) по значительному числу признаков, описывающих явления с различных сторон их природы и свойств.

Все чрезвычайные ситуации можно классифицировать по трем основным принципам – *масштабу распространения, темпу развития и природе происхождения*.

Классификация чрезвычайных ситуаций по масштабу

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 21 мая 2007 г. №304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» чрезвычайные ситуации подразделяются на:

а) *чрезвычайную ситуацию локального характера*, в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (далее – зона чрезвычайной ситу-

ации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество людей, погибших или получивших ущерб здоровью (далее – количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (далее – размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей;

б) *чрезвычайную ситуацию муниципального характера*, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн рублей, а также данная чрезвычайная ситуация не может быть отнесена к чрезвычайной ситуации локального характера;

в) *чрезвычайную ситуацию межмуниципального характера*, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн рублей;

г) *чрезвычайную ситуацию регионального характера*, в результате которой зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн рублей, но не более 500 млн рублей;

д) *чрезвычайную ситуацию межрегионального характера*, в результате которой зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн рублей, но не более 500 млн рублей;

е) *чрезвычайную ситуацию федерального характера*, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн рублей.

Классификация чрезвычайных ситуаций по темпу развития

Каждому виду чрезвычайных ситуаций свойственна своя скорость распространения опасности, являющаяся важной составляющей интенсивности протекания чрезвычайного события и характеризующая степень внезапности воздействия поражающих факторов. С этой точки зрения такие события можно подразделить на:

- *внезапные* (взрывы, транспортные аварии, землетрясения и т. д.);
- *стремительные* (пожары, выброс газообразных сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ), гидродинамические аварии с образованием волн прорыва, сель и др.),

- *умеренные* (выброс радиоактивных веществ, аварии на коммунальных системах, извержения вулканов, половодья и пр.);
- *плавные* (аварии на очистных сооружениях, засухи, эпидемии, экологические отклонения и т. п.). Плавные (медленные) чрезвычайные ситуации могут длиться многие месяцы и годы, например, последствия антропогенной деятельности в зоне Аральского моря.

Классификация чрезвычайных ситуаций по происхождению

В России применяется базовая классификация техногенных чрезвычайных ситуаций, построенная по типам и видам чрезвычайных событий, инициирующих чрезвычайные ситуации (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классификация техногенных чрезвычайных ситуаций

Вид техногенной чрезвычайной ситуации	Опасные события
1	2
1. Транспортные аварии (катастрофы)	Аварии грузовых железнодорожных поездов, аварии пассажирских поездов, поездов метрополитена, аварии (катастрофы) на автомобильных дорогах (крупные автомобильные катастрофы), аварии транспорта на мостах, в туннелях и железнодорожных переездах, аварии на магистральных трубопроводах, аварии грузовых судов (на море и реках), аварии (катастрофы) пассажирских судов (на море и реках), аварии (катастрофы) подводных судов, авиационные катастрофы в аэропортах и населенных пунктах, авиационные катастрофы вне аэропортов и населенных пунктов, наземные аварии (катастрофы) ракетных космических комплексов, орбитальные аварии космических аппаратов
2. Пожары, взрывы, угроза взрывов	Пожары (взрывы) в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании промышленных объектов, пожары (взрывы) на объектах добычи, переработки и хранения легковоспламеняющихся, горючих и взрывчатых веществ, пожары (взрывы) в шахтах, подземных и горных выработках, метрополитенах, пожары (взрывы) в зданиях, сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения, пожары (взрывы) на химически опасных объектах, пожары (взрывы) на радиационно опасных объектах, обнаружение неразорвавшихся боеприпасов, утрата взрывчатых веществ

Продолжение табл. 1.1

1	2
3. Аварии с выбросом угрозой выброса аварийно химически опасных веществ	Аварии с выбросом (угрозой выброса) аварийно химически опасных веществ при их производстве, переработке или хранении (захоронении), аварии на транспорте с выбросом (угрозой выброса) аварийно химически опасных веществ, образование и распространение опасных химических веществ в процессе химических реакций, начавшихся в результате аварии, аварии с химическими боеприпасами, утрата источников химически опасных веществ
4. Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ	Аварии на АЭС, атомных энергетических установках производственного и исследовательского назначения с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ, аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ на предприятиях ядерно-топливного цикла
5. Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ	Аварии транспортных средств и космических аппаратов с ядерными установками или грузом радиоактивных веществ на борту, аварии при промышленных и испытательных ядерных взрывах с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ, аварии с ядерными боеприпасами в местах их хранения или установки, утрата радиоактивных источников
6. Аварии с выбросом (угрозой выброса) биологически опасных веществ	Аварии с выбросом (угрозой выброса) биологически опасных веществ на предприятиях промышленности и в научно-исследовательских учреждениях (лабораториях), аварии на транспорте с выбросом (угрозой выброса) биологических веществ, утрата биологически опасных веществ
7. Гидродинамические аварии	Прорывы плотин (дамб, шлюзов, перемычек) с образованием волн прорыва и катастрофических затоплений, прорывы плотин (дамб, шлюзов, перемычек) с образованием прорывного паводка, прорывы плотин (дамб, шлюзов, перемычек), повлекшие смыв плодородных почв или отложение наносов на обширных территориях
8. Внезапное обрушение зданий, сооружений	Обрушение производственных зданий и сооружений, обрушение зданий и сооружений жилого, социально-бытового и культурного назначения, обрушение элементов транспортных коммуникаций

1	2
9. Аварии на электро-энергетических системах	Аварии на автономных электростанциях с долговременным перерывом электроснабжения всех потребителей, аварии на электроэнергетических системах (сетях) с долговременным перерывом электроснабжения основных потребителей или обширных территорий, выход из строя транспортных электроконтактных сетей
10. Аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения	Аварии в канализационных системах с массовым выбросом загрязняющих веществ, аварии на тепловых сетях (система горячего водоснабжения) в холодное время, аварии в системах снабжения населения питьевой водой, аварии на коммунальных газопроводах
11. Аварии на промышленных очистных сооружениях	Аварии на очистных сооружениях сточных вод промышленных предприятий с массовым выбросом загрязняющих веществ, аварии на очистных сооружениях промышленных газов с массовым выбросом загрязняющих веществ

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате источника чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Природные явления и процессы могут приводить к природным бедствиям, которые ежегодно уносят тысячи человеческих жизней и наносят огромный материальный ущерб. Природные бедствия представляют собой сложную совокупность разнообразных неблагоприятных и опасных природных явлений и процессов (НОЯ), которые в зависимости от их масштабов и интенсивности подразделяются на неблагоприятные природные явления, стихийные бедствия и природные катастрофы.

Под неблагоприятным природным явлением понимается стихийное событие природного происхождения, вызывающее сравнительно небольшие негативные последствия для жизнедеятельности людей и экономики. Классификация природных чрезвычайных ситуаций включает основные виды чрезвычайных событий природного происхождения (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Классификация природных чрезвычайных ситуаций

Вид природной чрезвычайной ситуации	Опасные явления
Космогенная	Падение на Землю астероидов, столкновение Земли с кометами, кометные ливни, столкновение Земли с метеоритами и болидными потоками, магнитные бури
Геофизическая	Землетрясения, извержения вулканов
Геологическая (экзогенная геологическая)	Оползни, сели, обвалы, осыпи, лавины, склоновый смыв, просадка лессовых пород, просадка (обвалы) земной поверхности в результате карста, абразия, эрозия, курумы, пыльные бури
Метеорологическая	Бури (9–11 баллов), ураганы (12–15 баллов), смерчи (торнадо), шквалы, вертикальные вихри (потоки)
Гидрометеорологическая	Крупный град, сильный дождь (ливень), сильный снегопад, сильный гололед, сильный мороз, сильная метель, сильная жара, сильная туман, засуха, суховей, заморозки
Морская гидрологическая	Тропические циклоны (тайфуны), цунами, сильное волнение (5 баллов и более), сильное колебание уровня моря, сильный таяния в портах, ранний ледяной покров или припай, напор льдов, интенсивный дрейф льдов, непроходимый (труднопроходимый лед), обледенение судов, отрыв прибрежных льдов
Гидрологическая	Высокие уровни воды, половодье, дождевые паводки, заторы и зажоры, ветровые нагоны, низкие уровни воды, ранний ледостав и преждевременное появление льда на судоходных водоемах и реках, повышение уровня грунтовых вод (подтопление)
Природные пожары	Лесные пожары, пожары степных и хлебных массивов, торфяные, подземные пожары горючих ископаемых

Стадии развития чрезвычайных ситуаций

Какими бы различными ни были чрезвычайные ситуации, все они в своем развитии проходят четыре характерные стадии [2]:

- зарождение,
- инициирование,
- кульминация.
- затухание.

На стадии зарождения создаются предпосылки будущей ТЧС: активизируются неблагоприятные природные процессы, накапливаются технологические неполадки и проектно-производственные дефекты, происходят сбои в работе оборудования, инженерно-технического персонала. К их числу также относятся большие объемы хранения и переработки материалов (огнеопасных, горючих, нестабильных, коррозионных (едких), высокореактивных, токсичных, пылевидных, инертных и других веществ) и экстремальные физические условия производственного процесса (высокие и низкие температуры, высокие давления, вакуум, циклические изменения температуры и давления, гидравлические удары и т. п.).

Продолжительность стадии зарождения может быть определена весьма приблизительно с использованием методологии теории надежности технических систем, теории риска, теории катастроф, регулярной статистики отказов, локальных аварий.

На стадии иницирования возникают технологические нарушения, связанные с выходом параметров процесса (давления, температуры, концентрации, скорости реакции, расхода вещества и др.) за критические значения.

Происходят спонтанные реакции, вышедшие из-под контроля, разгерметизация трубопроводов, резервуаров, пробой прокладок, коррозионное повреждение стенок. Возможно нарушение работы оборудования (насосов, клапанов, измерительных приборов, датчиков, блокировок). Обнаруживается неисправность систем обеспечения (электрической, водоснабжения, охлаждения, теплообмена, вентиляции). Нельзя исключать внешние события, к числу которых следует отнести экстремальные погодные условия, стихийные бедствия, акты вандализма, диверсии. Наиболее существенным является человеческий фактор, поскольку более 60 % аварий происходит из-за ошибок инженерно-технического персонала при проектировании, в процессе строительства и эксплуатации, при техническом обслуживании.

Стадия кульминации характеризуется высвобождением значительных количеств энергии и массы, причем даже небольшое иницирующее событие может привести в действие цепной механизм аварий с многократным увеличением мощности и масштабов (эффект «домино»). На этой стадии очень важно уметь предсказать сценарий развития аварии, что позволит принять действенные меры защиты, уменьшить человеческие жертвы или избежать их и значительно снизить наносимый ущерб.

Стадия затухания продолжается от момента устранения источника опасности до полной ликвидации последствий аварии, что может длиться годы и даже десятилетия (например, чернобыльская катастрофа). Знание причинно-следственной цепи формирования ЧС в конкретных условиях даст возможность уменьшить риск возникновения такой ситуа-

ции, обеспечить готовность и повысить безопасность в чрезвычайной ситуации.

1.2. Факторы негативного воздействия источников техногенных чрезвычайных ситуаций на человека и среду обитания

Классификация поражающих факторов негативного воздействия на человека и окружающую среду

Степень опасности зависит от вероятности ее реализации, тех или иных поражающих факторов, а также от уязвимости и защищенности самого опасного объекта от внешних опасностей.

Поражающий фактор источника чрезвычайной ситуации – составляющая опасного явления или процесса, вызванная источником чрезвычайной ситуации и характеризующаяся физическими, химическими и биологическими действиями или проявлениями, которые определяются или выражаются соответствующими параметрами.

Независимо от источника возникновения ТЧС все они имеют практически одни и те же факторы негативного воздействия на человека и среду его обитания.

Факторы негативного воздействия классифицируют на следующие виды [2]:

- *термическое воздействие* (пожары в зданиях и сооружениях, пожары разлития, лесные пожары и т. п.);
- *барическое воздействие* (воздействие ударной волны при взрыве взрывчатых веществ, газо-воздушных смесей, технологических установок и т. п.);
- *токсическое воздействие* (выбросы опасных химических веществ при химических авариях, выпускных газов автотранспорта, продуктов горения при пожарах и т. п.);
- *механическое воздействие* (при поражении осколками, обрушении зданий и сооружений и т. д.);
- *электромагнитное воздействие* (при радиационной аварии, от высоковольтных линий электропередач (ЛЭП) и работы высокочастотных приемно-передающих установок и бытовых устройств);
- *акустическое воздействие* (от промышленных установок, реактивных самолетов, городского транспорта и т. д.);
- *радиационное воздействие* (при радиационной аварии, рентгеновских исследованиях в медицине, приеме радоновых ванн и т. д.).

Термическое воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

Термическое воздействие на человека связано с прогревом и последующими биохимическими изменениями верхних слоев кожи. Человек

ощущает сильную (едва переносимую боль, когда температура верхнего слоя кожного покрова ($\approx 0,1$ мм) повышается до 45°C). Время достижения «порога боли» τ , (с), связано с плотностью теплового потока q ($\text{кВт}/\text{м}^2$), соотношением

$$\tau = (35/q)^{1,33}. \quad (1.2)$$

Если плотность теплового потока менее $1,7 \text{ кВт}/\text{м}^2$, то боль не ощущается даже при длительном тепловом воздействии. Степень термического воздействия зависит от величины теплового потока и длительности теплового излучения. При относительно слабом термическом воздействии будет повреждаться только верхний слой кожи (эпидермис) на глубину около 1 мм (ожог I степени – покраснение и отек кожи). Увеличение плотности теплового потока или длительности излучения приводит к воздействию на нижний слой кожи – дерму (ожог II степени – появление пузырей) и подкожный слой (ожог III степени – омертвление кожи и образование некротического струпа).

Здоровые взрослые люди и подростки выживают, если ожоги III степени охватывают менее 20 % поверхности тела. Выживаемость пострадавших даже при интенсивной медицинской помощи резко снижается, если ожог составляет 50 % и более поверхности тела.

Термическое воздействие на легковоспламеняющиеся материалы может вызвать дальнейшее разрастание аварии и переход ее в стадию каскадного развития. Согласно имеющейся статистике распространение и развитие пожаров в производственных помещениях происходят в основном по материалам, сырью и технологическому оборудованию (42 %), а также по сгораемым строительным конструкциям (36 %), среди которых наибольшее распространение имеют древесина и пластики.

Для каждого материала существует критическое значение плотности теплового потока $q_{кр}$, при котором воспламенение не происходит даже при длительном тепловом воздействии. При увеличении величины теплового потока *время до начала воспламенения материала уменьшается*.

В общем случае зависимость времени воспламенения от количества плотности теплового потока имеет вид

$$\tau = A/(q - q_{кр})^n, \quad (1.3)$$

где A и n – константы для конкретного вещества (например, для древесины $A = 4360$, $n = 1,61$).

При длительности теплового воздействия 30 с и плотности теплового потока $12 \text{ кВт}/\text{м}^2$ воспламеняются деревянные конструкции; при $10,5 \text{ кВт}/\text{м}^2$:

– обгорает краска на окрашенных металлических конструкциях, обугливаются деревянные конструкции; при $8,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ – вспучивается краска на металлических конструкциях, разлагаются деревянные конструкции. Плотность теплового потока $4 \text{ кВт}/\text{м}^2$ безопасна для зданий и сооружений. Особенно опасен нагрев резервуаров (емкостей) с нефтепро-

дуктами, который может привести к взрыву сосуда. В зависимости от длительности облучения величина критической плотности теплового потока значительно меняется.

Опасность термического воздействия на строительные конструкции связана со значительным снижением их строительной прочности при превышении определенной температуры.

Степень устойчивости сооружения к тепловому воздействию зависит от предела огнестойкости конструкции, характеризуемого временем, по истечении которого происходит потеря несущей способности. О прочности материалов может свидетельствовать так называемая критическая температура прогрева, которая для стальных балок, ферм и прогонов находится в пределах 470–500 °С, для металлических сварных и жестко заземленных конструкций – 300–350 °С.

При проектировании зданий и сооружений используют железобетонные конструкции, предел огнестойкости которых значительно выше, чем у металлических. Так, предел огнестойкости железобетонных колонн сечением 20х20 см – 2 ч, сечением 30 х 50 см – 3,5 ч.

Потеря несущей способности изгибаемых, свободно опертых элементов плит, балок наступает вследствие прогрева растянутой арматуры до критической температуры 470–500 °С. Предел огнестойкости предварительно напряженного железобетона такой же, как и у конструкций с ненапряженной арматурой. Особенность напряженных конструкций – образование необратимых деформаций при их прогреве уже до 250 °С, после чего их нормальная эксплуатация невозможна.

Барическое воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

При взрыве взрывчатого вещества, атомной бомбы, баллона с газом, парогазовоздушного облака (ПГВО) образуется *ударная волна*, характеризующая избыточным давлением на ее фронте ΔP_{Φ} , кПа, которая оказывает негативное воздействие на человека, здания, сооружения и т. п.

Общая характеристика воздействия ударной волны взрыва на человека показана в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Характеристика воздействия ударной волны взрыва на человека, кПа

Характеристика воздействия ударной волны взрыва	Ударная волна, кПа
1	2
Для человека безопасно	<10
Легкое поражение (ушибы, вывихи, временная потеря слуха, общая контузия)	20–40
Среднее поражение (контузия головного мозга, повреждение органов слуха, разрыв барабанных перепонок, кровотечение из носа и ушей)	40–60

1	2
Сильное поражение (сильная контузия всего организма, потеря сознания, переломы конечностей, повреждения внутренних органов)	60–100
Порог смертельного поражения	100
Летальный исход в 50 % случаев	250–300
Безусловное смертельное поражение	>300

При оценке барического воздействия на здания и сооружения принимают четыре степени их разрушения:

- *слабое* – повреждение или разрушение крыш, оконных и дверных проемов; ущерб – 10–15 % стоимости здания;
- *среднее* – разрушения крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей; ущерб – 30–40%;
- *сильное* – разрушение несущих конструкций и перекрытий; ущерб – 50 %, ремонт нецелесообразен;
- *полное* – обрушение зданий, сооружений.

Токсическое воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

Перечень производимых промышленностью и используемых в стране химических веществ насчитывает более 70 тыс. наименований. Большинство из них представляет определенную опасность для здоровья людей и экологии, однако к опасным химическим веществам (ОХВ) согласно ГОСТ Р 22.05–94 относят только те вещества, прямое или опосредованное воздействие которых на человека может вызвать острые или хронические заболевания людей или их гибель.

По характеру воздействия на организм человека ОХВ подразделяются на три группы:

- 1) *ингаляционного действия* – действующие через органы дыхания;
- 2) *перорального действия* – действующие через желудочно-кишечный тракт;
- 3) *кожно-резорбтивного действия* – действующие через кожные покровы.

Основными характеристиками токсических свойств ОХВ являются:

- ПДК, мг/м³,
- смертельная концентрация вещества в данной среде (воздухе, воде, продуктах),
- токсодоза (пороговая, поражающая, смертельная).

Наиболее часто используют следующие величины:

- LC_{50} – средняя смертельная концентрация, вызывающая летальный исход у 50 % пораженных, мг/л;

– LD_{50} – средняя смертельная (летальная) токсодоза, вызывающая летальный исход у 50 % пораженных при времени экспозиции для незащищенного населения 30 мин, (мг- мин)/л.

Согласно ГОСТ 12.1.007–76 по опасности воздействия на организм человека все ОХВ подразделяются на четыре класса:

1) *чрезвычайно опасные (I класс)* – соединения ртути, свинца, кадмия, цинка; цианистый водород, синильная кислота и ее соли, нитриты; соединения фосфора; галогеноводороды; хлор, фосген и т. д.;

2) *высокоопасные (II класс)* – кислоты; щелочи (аммиак, едкий натр); серосодержащие соединения (сульфиды, сероуглерод и др.); спирты и альдегиды (формальдегид, метиловый спирт) и т. п.;

3) *умеренно опасные (III класс)* – оксиды железа, магния и т. д.;

4) *малоопасные (IV класс)* – бензин, аммиак и т. д.

Сведения о токсичных свойствах химических веществ можно почерпнуть из справочной литературы, приведенной в пособии.

Радиационное воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

К наиболее распространенным видам радиационного воздействия относятся проникающее излучение и радиоактивное заражение.

Проникающее излучение представляет собой поток всех видов излучения и поток нейтронов. Виды ионизирующих излучений:

Альфа-излучение – это положительно заряженные ионы гелия, образующиеся при распаде ядер, как правило, тяжелых естественных элементов (радия, тория и др.). Эти лучи не проникают глубоко в твердые или жидкие среды, поэтому для защиты от внешнего воздействия достаточно защититься любым тонким слоем, даже листком бумаги.

Бета-излучение представляет собой поток электронов, образующихся при распаде ядер как естественных, так и искусственных радиоактивных элементов. Бета-излучения обладают большей проникающей способностью по сравнению с альфа-лучами, поэтому и для защиты от них требуются более плотные и толстые экраны. Разновидностью бета-излучений, образующихся при распаде некоторых искусственных радиоактивных элементов, являются, позитроны. Они отличаются от электронов лишь положительным зарядом, поэтому при воздействии на поток лучей магнитным полем они отклоняются в противоположную сторону.

Гамма-излучение, или кванты энергии (фотоны), представляют собой жесткие электромагнитные колебания, образующиеся при распаде ядер многих радиоактивных элементов. Эти лучи обладают гораздо большей проникающей способностью. Поэтому для экранирования от них необходимы специальные устройства из материалов, способных хорошо задерживать гамма-лучи (свинец, бетон, вода). Ионизирующий эффект действия гамма-излучения обусловлен в основном как непосредственным расходом

ванием собственной энергии, так и ионизирующим действием электронов, выбиваемых из облучаемого вещества.

Рентгеновское излучение образуется при работе рентгеновских трубок, а также сложных электронных установок (бетатронов и т. п.). По характеру рентгеновские лучи во многом сходны с гамма-лучами и отличаются от них происхождением и иногда длиной волны: рентгеновские лучи, как правило, имеют большую длину волны и более низкие частоты, чем гамма-лучи. Ионизация вследствие воздействия рентгеновских лучей происходит в большей степени за счет выбиваемых ими электронов и лишь незначительно за счет непосредственной траты собственной энергии. Эти лучи (особенно жесткие) также обладают значительной проникающей способностью.

Нейтронное излучение представляет собой поток нейтральных, то есть незаряженных частиц нейтронов (n) являющихся составной частью всех ядер, за исключением атома водорода. Они не обладают зарядами, поэтому сами не оказывают ионизирующего действия, однако весьма значительный ионизирующий эффект происходит за счет взаимодействия нейтронов с ядрами облучаемых веществ. Облучаемые нейтронами вещества могут приобретать радиоактивные свойства, то есть получать так называемую наведенную радиоактивность. Нейтронное излучение образуется при работе ускорителей элементарных частиц, ядерных реакторов и т. д. Нейтронное излучение обладает наибольшей проникающей способностью. Задерживаются нейтроны веществами, содержащими в своей молекуле водород (вода, парафин и др.).

Все виды ионизирующих излучений отличаются друг от друга различными зарядами, массой и энергией. Различия имеются и внутри каждого вида ионизирующих излучений, обуславливая большую или меньшую проникающую и ионизирующую способность, и другие их особенности. Интенсивность всех видов радиоактивного облучения, как и при других видах лучистой энергии, обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника излучения, то есть при увеличении расстояния вдвое или втрое интенсивность облучения уменьшается соответственно в 4 и 9 раз.

Ионизирующая способность проникающего излучения характеризуется экспозиционной дозой излучения, измеряемой в кулонах на килограмм (Кл/кг). На практике в качестве единицы экспозиционной дозы часто применяют внесистемную единицу *рентген* (Р) – количество γ -излучения, при поглощении которого в 1 см^3 сухого воздуха при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 760 мм рт. ст. образуется $2,083 \cdot 10^9$ пар ионов с зарядом, равным заряду электрона ($1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$).

Степень тяжести радиационного поражения зависит от поглощенной дозы $D_{T,R}$ в органе или ткани T , выражаемой в *греях* (Гр), которая соответствуют энергии 1 Дж ионизирующего излучения R любого вида, поглощенного облучаемым веществом массой 1 кг .

Если организм подвергся воздействию различных видов излучения, применяют понятие эквивалентной дозы, под которой понимают сумму поглощенных доз в органе или ткани, умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты для данного излучения:

$$H_{T,R} = \sum W_R D_{T,R} \quad (1.4)$$

где W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R .

Единицей измерения эквивалентной дозы является Дж/кг – *зиверт* (Зв).

Мерой риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов является *эффективная доза*, представляющая собой сумму произведений эквивалентной дозы в органе H_T на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани, Зв.

$$E = \sum W_T \cdot H_T \quad (1.5)$$

где W_T – взвешивающий коэффициент для ткани T ; H_T – эквивалентная доза в ткани T .

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов:

- *детерминированные (пороговые)* – лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.;
- *стохастические (безпороговые)* – злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни.

При нормальных условиях эксплуатации источников ионизации основные дозовые пределы устанавливаются «Нормами радиационной безопасности».

Для персонала (группа А) эффективная доза составляет 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные пять лет, но не более 50 мЗв в год, а для населения (группа Б) – 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные пять лет, но не более 5 мЗв в год.

К группе А относятся лица, непосредственно работающие с источником ионизирующих излучений. В группу Б входят лица, которые по условиям проживания или профессиональной деятельности могут подвергаться воздействию радиоактивного излучения (дозы облучения, как и все остальные допустимые производные уровни группы Б, не должны превышать $\frac{1}{4}$ значений для группы А).

Механическое воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

Механическое воздействие на человека имеет место при обрушении зданий и сооружений, падении деревьев и столбов, ударе тела о препятствие (землю) при отбрасывании ударной волной, поражении человека, сооружений, резервуаров при разлете образующихся при взрыве осколков.

Случаи поражения человека при обрушении зданий, падении деревьев имеют вероятностный характер и могут быть оценены только по усредненным статистическим данным.

При взрыве боеприпасов, резервуаров, газа (паров горючей жидкости) внутри зданий образуется поле осколков разного размера и массы, обладающих различной дальностью разлета, пробивной и убийной силой. Для ориентировочной оценки поражающего действия осколков обычно полагают, что все осколки имеют форму цилиндра диаметром d_l и длиной l_l равной толщине исходной оболочки δ_l .

Способность осколка поразить человека определяется его кинетической энергией. Осколок, обладающий кинетической энергией $E_{кин} > 100$ Дж, способен поразить человека и носит название «убийный осколок».

Электромагнитное воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

Организм человека осуществляет свою деятельность путем ряда сложных процессов и механизмов, в том числе внутри- и внеклеточной электромагнитной информации и соответствующей биоэлектрической регуляции.

Человек – сложная электромагнитная система, работающая в трех диапазонах частот:

- базовая частота – 7,83 Гц, камертон жизни, частота электромагнитного поля Земли (частота Шумана);
- поддерживающие частоты – 750–850 Гц, частоты энергетических центров;
- частоты энергоинформационного обмена клеток – 40–70 ГГц.

Клетки, общаясь друг с другом на частотах 40–70 ГГц, образуют общее торсионное поле, которое ориентирует их в определенном положении в пространстве, создавая различные клеточные объединения: органы, кости, мышцы и т. д. Внешнее электромагнитное излучение в этом диапазоне частот нарушает нормальную формационного обмена приводят к нарушениям на физическом уровне.

Человек живет в постоянном электрическом и постоянном магнитном поле Земли, на которое накладывается излучение внешних природных электромагнитных источников (Солнце, звезды и т. д.) и внутренних электромагнитных источников (атмосферные процессы).

Для характеристики электрического поля используют *напряженность электрического поля* E , имеющую размерность В/м. Величина магнитного поля H характеризуется *напряженностью магнитного поля*, имеющего размерность А/м. Для описания магнитных полей сверхнизких и крайне низких частот используют также *магнитную индукцию* B . Ее единица измерения – Тл (тесла), одна миллионная часть которой (мкТл) соответствует 1,25 А/м.

Напряженность электрического поля Земли составляет от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличить напряженность поля до десятков и сотен кВ/м.

Излучение антропогенных источников электромагнитных полей делят на две группы:

- *низко- и сверхнизкочастотное* (0–3 кГц) – все системы производства, передачи и распределения электроэнергии; домашняя и офисная электро- и электронная техника; транспорт на электроприводе; железнодорожный транспорт и его инфраструктура; метро, троллейбус, трамвай;

- *радиочастотное* (3 кГц–300 ГГц, включая СВЧ-диапазон от 300 МГц до 300 ГГц) – коммерческие передатчики: радиоволны АМ, ЧМ, телевидение, ВЧ, УКВ-диапазоны; радиотелефоны; направленная радиосвязь: спутниковая и наземные релейные станции; навигация; локаторы; технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц–1 МГц) и импульсные поля; медицинские диагностические и терапевтические установки (20 МГц–3 ГГц); бытовое СВЧ-оборудование; мониторы компьютеров, телевизоры.

Последствия сильного электромагнитного загрязнения среды обитания проявляются у людей в нарушении поведения, потери памяти, болезни Паркинсона, болезни Альцгеймера, внезапной смерти грудных детей, расстройстве половой функции. Особенно чувствительны к электромагнитному воздействию эмбрионы и дети.

Установлено воздействие электромагнитных волн на нервную и иммунную системы человека. При воздействии электромагнитного поля у человека снижается фагоцитарная активность нейтрофилов, происходят изменения комплементарной активности сыворотки крови, нарушается белковый обмен, угнетаются Т-лимфоциты. Вероятность развития рака лимфатической системы и кроветворных органов возрастает в 6,7 раза, рака щитовидной железы – в 4,3 раза.

Акустическое воздействие источников ТЧС на человека и объекты окружающей среды

Шум – это совокупность звуков различной силы и высоты, беспорядочно изменяющихся во времени и вызывающих неприятные субъективные ощущения. Звуки в диапазоне менее 16 Гц (инфразвук) и выше 20 кГц (ультразвук) человеком не распознаются. Существует возрастная и индивидуальная чувствительность в восприятии звука. Официальная классификация подразделяет шум на широкополосный и тональный, по временным характеристикам – на *постоянный и непостоянный*.

При резком выхлопе, взрыве происходит разрыв барабанной перепонки и человек теряет слух, при длительном монотонном воздействии шума развивается тугоухость.

1.3. Наиболее часто реализуемые аварийные ситуации на объектах экономики и их последствия

Авария – это повреждение машины, станка, оборудования, здания, сооружения. Производственная авария – это внезапная остановка работы или нарушение установленного процесса производства на промышленных предприятиях, транспорте и других объектах экономики, которые приводят к повреждению или уничтожению материальных ценностей, поражению или гибели людей.

Катастрофа – это крупная авария с большими человеческими жертвами, т. е. событие с весьма трагическими последствиями. Главный критерий в различии аварий и катастроф заключается в тяжести последствий и наличии человеческих жертв. Как правило, следствием крупных аварий и катастроф являются пожары и взрывы, в результате которых разрушаются производственные и жилые здания, повреждаются техника и оборудование. В ряде случаев они вызывают загазованность атмосферы, разлив нефтепродуктов, а также агрессивных жидкостей. Причинами производственных аварий и катастроф могут быть стихийные бедствия, дефекты, допущенные при проектировании или строительстве сооружений и монтаже технических систем, нарушения технологии производства, правил эксплуатации транспорта, оборудования, машин, механизмов. Наиболее распространенными причинами аварий и катастроф на объектах экономики являются нарушения технологического процесса производства и правил техники безопасности.

В России более 3 тысяч объектов, которые при авариях или разрушениях могут привести к массовым поражениям людей. За последние 30 лет количество аварий увеличилось в 2,5 раза. При этом, количество жертв увеличилось в 6 раз, а экономический ущерб в 11 раз.

Такие предприятия наносят колоссальный ущерб окружающей среде.

Аварии на объектах нефтяной и газовой промышленности

Учитывая потенциальную промышленную и экологическую опасность технологических процессов бурения скважин, добычи нефти и газа, транспорта углеводородного сырья существует определенная вероятность возникновения нештатных и аварийных ситуаций, прямо или косвенно влияющих на окружающую среду. Большие объемы изливаемых пластовых вод, нефти и нефтепродуктов сопровождаются загрязнением почвы и водных объектов, гибелью ихтиофауны, порывы газопроводов приводят к возникновению взрывов, пожаров и уничтожению растительности и гибели животных, загрязнению атмосферы.

Основными источниками загрязнения компонентов природной среды в результате нештатных (аварийных) ситуаций могут быть:

- разгерметизация приемных емкостей бурового раствора;
- аварийные выбросы бурового раствора и пластовых флюидов;

- открытое фонтанирование флюида;
- порыв на водоводах высокого и низкого давления;
- порыв нефтесборных коллекторов;
- порывы на выкидных линиях, внутрипромысловых и межпромысловых трубопроводах;
- разгерметизация аварийно-технологического резервуара;
- разгерметизация резервуара и пожар в резервуарном парке.

Аварии с открытыми фонтанами при строительстве и эксплуатации скважин являются наиболее сложными и опасными, наносящими огромный материальный ущерб. Начавшаяся в виде единичных нефтяных проявлений аварийная ситуация может перейти в открытый фонтан с возгоранием, уничтожением скважин, гибелью людей. Особенно опасны выбросы и открытые фонтаны на нефтяных и газовых месторождениях с наличием сероводорода, а также на месторождениях, расположенных на континентальном шельфе и на охраняемых природных территориях.

Возникновению и развитию аварийных ситуаций способствуют как внешние, так и внутренние факторы. Процесс вскрытия пластов, освоения, испытания и эксплуатации скважин сопряжен с *внутренними опасностями*, обусловленными:

- взрыво- и пожароопасностью среды;
- внутренней энергетикой (выход нефти и газа идет под давлением, при температуре выше окружающей среды);
- вероятностью отказов оборудования, работающего под давлением, технологических трубопроводов, арматуры, систем контроля и автоматизации, составляющих комплекс противofонтанной защиты.

Факторы существующей *внешней опасности* представлены:

- *атмосферными явлениями* – интенсивное выпадение дождя, низкие температуры зимой, снегопад, туман, град, молния, засуха;
- *природными условиями* – наводнения, размыв грунта, заливание водой, протаивание грунта, коррозионная активность грунта, цунами, сели, лавина;
- *техногенными условиями* – лесные (торфяные, луговые) пожары, падение летательных аппаратов, авария на соседнем объекте, подземные и другие работы, передвижной автотранспорт, неосторожное обращение с огнем, сварочные и огневые работы, саботаж, диверсия, военные действия.

Ветровые нагрузки в качестве причин аварии не рассматриваются, так как все оборудование и элементы инфраструктуры рассчитываются на скорость ветра 40 м/с.

Основным фактором, способствующим возникновению и развитию аварий, является наличие пластовых флюидов под давлением в скважине, которое создает опасность аварийного разлития большого количества опасного вещества и образование облака топливно-воздушной смеси

(ТВС) при аварийной разгерметизации оборудования, установленного на устье скважины.

К основным причинам и факторам, связанными с отказами оборудования, относятся:

– нарушение регламента работ, при котором возможен выброс скважинной жидкости с последующей утечкой нефти из скважины и воспламенением, а при несвоевременной локализации – возникновением и развитием пожара. Возможно образование облака топливно-воздушной смеси с последующим взрывом.

– физический износ, коррозия, механические повреждения, температурные деформации оборудования или трубопроводов. При резких перепадах температур (наружных пониженных и технологических повышенных) происходит взаимодействие влаги с металлом, что снижает срок службы оборудования, может привести к аварийной разгерметизации и выбросу опасных веществ в окружающую среду, взрывам и пожарам. Анализ неполадок и аварий показывает, что коррозионное разрушение при достаточно прочной конструкции противовыбросового оборудования и устьевого арматуры выявляется еще на стадии опрессовки оборудования и не приводит к серьезным последствиям. Аварии наиболее вероятны при несвоевременной опрессовке оборудования и арматуры.

– прекращение подачи энергоресурсов (гидравлической жидкости по превентору), которое, как правило, не приводит к серьезным последствиям, так как система дублируется ручным управлением превенторами. Аварийные ситуации возникают при несвоевременном возобновлении подачи энергоресурсов.

– внешние воздействия и опасности, связанные с ними, маловероятны, но могут привести к выбросу нефти в окружающую среду, взрывам и пожарам.

Аварийные ситуации, связанные с разливом бурового раствора и пластовых вод. Основными причинами разливов бурового раствора, содержащего токсичные компоненты, могут стать:

- технические ошибки обслуживающего персонала;
- нарушение правил техники безопасности.

Аварийной ситуацией может быть разрушение емкости с буровым раствором и порыв высоконапорного трубопровода, сопровождающиеся залповым сбросом токсичных компонентов на рельеф местности. При этом происходит вертикальная фильтрация загрязняющих веществ в водоносные горизонты, и миграция загрязненных вод к зоне разгрузки в поверхностный водоток.

Для предупреждения и локализации разливов буровых растворов предусматриваются следующие мероприятия:

- организация обвалования по периметру буровой площадки, а также котлованов и амбаров с гидроизоляцией дна и стенок;

- устройство герметизированных полов в складах для хранения химреагентов;
- механизация работ по сливу разливов в емкости;
- организация пунктов по мойке и чистке емкостей из-под вредных веществ.

Для ликвидации последствий аварий, связанной с выбросом пластовой жидкости, на буровой должен быть предусмотрен двукратный запас бурового раствора и резерв химреагентов для регулирования свойств бурового раствора (утяжеления) из расчета приготовления раствора в количестве, равном объему скважины. Химреагенты должны храниться в отдельно стоящем складе.

Аварийные ситуации на линейной части нефтепровода

Масштабы загрязнения основных компонентов окружающей среды зависят от объемов разлитой нефти и ее свойств.

Воздействие нефтяного разлива во многом определяется физико-химическими характеристиками нефти: плотностью, вязкостью, температурой вспышки паров и температурой застывания.

Плотность нефти изменяется как с потерей легких фракций, так с изменением температуры, а также в результате присоединения механических примесей, например, частиц грунта.

При плотности, близкой к $1,0 \text{ г/см}^3$, возникает угроза ее осаждения на дно. При изменении температуры нефти на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ее плотность изменяется в среднем на $0,0007 \text{ г/см}^3$. Необходимо учитывать, что плотность воды при ее охлаждении от 40 до $0 \text{ }^\circ\text{C}$ уменьшается, поэтому наиболее вероятно, что находящаяся на воде нефть, плотность которой близка к $1,0 \text{ г/см}^3$, при понижении температуры осядет на дно.

Увеличение плотности нефти от потери легких фракций – процесс необходимый, но с повышением температуры воды плотность нефти уменьшается, и она может всплыть.

Вязкость – важнейшее свойство нефти, существенно влияющее на характер загрязнения и условия сбора. Изменение вязкости пролитой на воду нефти происходит под воздействием таких факторов, как испарение, эмульгирование, изменение температуры. Эмульгирование увеличивает вязкость нефти, если создается эмульсия «вода в нефти». Например, при смешивании мазута, вязкость которого составляет $0,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температуре $80 \text{ }^\circ\text{C}$, с водой в соотношении 1:1 вязкость полученной эмульсии при той же температуре составляет $1,6 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Температура вспышки нефти. Этот показатель характеризует степень пожарной опасности нефтепродукта. При растекании нефтепродукта по воде температура вспышки паров может находиться в интервалах от $20\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ до $70\text{--}80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура застывания. Эта величина имеет значение для оценки состояния нефти при изменении температуры окружающей среды, так как возможен ее переход из текучего состояния в нетекучее. Это усложняет условия сбора и вызывает необходимость соответствующего изменения технических средств и методов сбора. При воздействии факторов окружающей среды на пролитую нефть температура ее застывания возрастает.

Высокая температура застывания нефти свойственна нефтям и нефтепродуктам, содержащим большое количество парафинов. Так, высокопарафинистая нефть имеет температуру застывания выше 30 °С и при разливе почти всегда находится во застывшем состоянии.

Причины возникновения аварий

На основе статистических данных аварийности магистральных нефтепроводов выделено 10 групп факторов, влияющих на возникновение аварийных ситуаций. Для каждой группы факторов определены весовые коэффициенты, характеризующие вклад данной группы в общую статистику отказов (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Факторы аварийности магистральных нефтепроводов

№ группы	Наименование группы факторов	Доля группы, %
1	Внешние антропогенные воздействия	20
2	Подземная коррозия	2
3	Атмосферная коррозия	2
4	Внутренняя коррозия	20
5	Качество производства труб и оборудования	15
6	Качество строительно-монтажных работ	15
7	Качество и сроки испытаний	5
8	Конструктивно-технологические факторы	5
9	Природные воздействия	10
10	Эксплуатационные факторы	6

Наряду с возможными причинами разрушений, присущими линейной части наземных участков, подводные трубопроводы подвержены особым видам воздействия, приводящим к повреждению трубопроводов и утечке нефтепродуктов:

- волновые нагрузки и подводные течения;
- ветровые воздействия;
- ледовые нагрузки;
- перемещение водного грунта;
- электрохимическая активность водной среды;
- воздействие судов и механизмов в зоне расположения трубопровода.

Рассмотренные причины можно объединить в 2 группы:

– *внешние* – связанные с производственно-хозяйственной деятельностью человека: судоходство, рыболовство, производство земляных работ в районе прокладки трубопровода;

– *внутренние* – обусловленные природными условиями: переформированием дна водоема, эрозиями, оползнями, стихийными бедствиями (землетрясениями, ураганами, штормами).

Наиболее характерной причиной отказов подводных трубопроводов, обусловленной природными условиями, является оголение трубопровода в результате переформирования ложа водоема. При этом, как показывает опыт эксплуатации, разрушение размытого трубопровода практически неизбежно.

В то же время, повреждение трубопроводов в процессе производственно-хозяйственной деятельности является одной из наиболее частых причин их отказов. При прохождении донного трала над незаглубленным трубопроводом наблюдается трение канатов и трала о трубопровод, а также удары направляющими башками. Кроме того, большую опасность представляют повреждения трубопровода при ударе и зацеплении якорями судов, приводящие к нарушению бетонного покрытия, образованию вмятин на теле труб или их разрыву. Характер повреждения трубопровода якорями в существенной мере зависит от диаметра трубы и толщины бетонного покрытия. При прочих равных условиях, в случае удара или зацепления якорем трубопровода большого диаметра чаще имеет место повреждение утяжеляющего покрытия и вмятин стенок трубы. Для трубопроводов небольших диаметров при таких ударах и зацеплениях более характерны разрывы.

Внутренние причины отказов обусловлены различными процессами, происходящими в самом трубопроводе. К ним относятся:

- коррозионные процессы на внутренней стороне труб;
- динамические процессы в материале стенок;
- гидравлические процессы, сопровождающиеся возникновением волн давления, при изменении режимов работы трубопровода.

При наличии потенциально опасных мест, таких как: дефектные участки сварных швов, усталостные трещины стенок и коррозионные повреждения, возможно разрушение стен трубопровода в этих местах. Причем в начальные моменты времени эти повреждения проявляются в виде небольших трещин и свищей. Затем, при продолжении перекачки, размеры повреждения увеличиваются и могут достичь величины, сопоставимой с диаметром трубы.

Сценарии развития аварийных ситуаций

При аварии на сухопутных участках нефтепровода, развитие аварийной ситуации может происходить по одному из двух наиболее вероятных сценариев:

1. *Разлив нефти на поверхности земли и / или водных объектов без воспламенения нефти.* Этот сценарий представляет опасность, главным образом, для природной среды. При этом непосредственная угроза жизни населения невелика, поскольку пары нефти обладают малой токсичностью и не могут привести к летальным последствиям даже при формировании зон с высокой концентрацией паров углеводородов в месте аварии. В то же время, косвенные последствия могут представлять определенную угрозу здоровью людей в результате загрязнения источников водоснабжения (как поверхностных, так и подземных), а также накопления токсичных компонентов в растительности и животных, употребляемых в пищу.

2. *Разлив нефти на поверхности земли и / или водных объектов, сопровождающиеся пожаром на поверхности разлива.* При этом сценарии угроза жизни населения возрастает в силу высокой токсичности продуктов горения нефти, поступающих в атмосферу, а также термического воздействия пожара. Опасность загрязнения природной среды также высока, в особенности, при возникновении обширных пожаров на залесенных участках трассы.

Наиболее вероятные сценарии возникновения и развития аварийных ситуаций, связанные с разрушением подводных трубопроводов и утечкой нефти, могут быть представлены в виде последовательности следующих событий:

- разгерметизация трубопровода в силу внешних или внутренних причин;
- поступление нефти в водную среду.

Основная опасность подобных аварий связана с загрязнением окружающей среды. Аварии подводных трубопроводов, сопровождающиеся поступлением нефти в водоем или водоток, оказывают негативное воздействие на все компоненты природной среды:

- атмосферный воздух, загрязняемый при испарении нефти с водной поверхности;
- собственно водную среду, включая водную толщу и ложе водоема водотока;
- живые организмы, населяющие загрязненную акваторию и прилегающую территорию.

В зависимости от масштабов загрязнения и потенциальных возможностей водного объекта к самоочищению, последствия этих воздействий могут быть кратковременными и легко преодолимыми или иметь долгосрочный характер.

Резервуарные парки

Причины аварийных ситуаций в резервуарных парках НПС связаны с разрушением (полным или частичным) резервуаров и пожарами в резервуарном парке. Вероятность разрушения резервуара формируется за счет действия различных факторов:

- механические и коррозионные повреждения;
- дефекты конструкции и монтажа;
- пожар в резервуарном парке;
- активизация оползневых процессов, землетрясение, наводнение и другие стихийные бедствия.

Причины возникновения пожара в резервуарных парках обусловлены образованием взрывоопасных концентраций паров углеводородов в самом резервуаре или на площадке обвалования и активизацией источника воспламенения (инициирования) взрывоопасной смеси.

В свою очередь взрывоопасные концентрации создаются при:

- выделении паров нефти в процессе больших и малых дыханий резервуаров;
- нерегламентированных утечках нефти из технологического оборудования;
- сбросе подтоварной воды, загрязненной нефтью из резервуаров;
- утечках нефти из аварийных резервуаров и подводящих трубопроводов;
- разливах нефти при разрушении резервуаров.

Сценарии развития аварийных ситуаций. Развитие аварийной ситуации в резервуарных парках может происходить по одному из трех наиболее вероятных сценариев:

1. Разлив нефти в результате разрушения резервуара (ов) без воспламенения нефти. Представляет наименьшую опасность для природной среды и персонала, если нефть не растекается за пределы обвалования. При прорыве обвалования в результате гидродинамического воздействия вытекающей нефти возможно загрязнение основных компонентов окружающей среды в значительных масштабах.

2. Пожар в резервуаре или обваловании. Возрастает угроза жизни персонала от токсичности продуктов горения, а также термического воздействия пожара. Опасность загрязнения природной среды связана с загрязнением атмосферы продуктами горения нефти. При разливе нефти за пределы обвалования опасность загрязнения окружающей среды и угроза населению увеличивается.

3. Взрыв паров углеводородов в резервуаре или обваловании, сопровождающийся горением нефти. Воздействие на окружающую среду и население имеет форму ударного воздействия, возникшего в результате взрыва.

Аварии на автозаправочных станциях

Технологическая схема работы автозаправочной станции (АЗС) состоит из трех стадий:

1. Стадия приема нефтепродуктов из бензовозов в подземные резервуары;

2. Стадия хранения нефтепродуктов в резервуарах до момента их перекачивания через топливораздаточные колонки для заправки автотранспортной техники;

3. Стадия заправки нефтепродуктами из подземных резервуаров автотранспортной техники через топливораздаточные колонки.

Наличие большого количества дизельного топлива и бензина в емкостном оборудовании создает опасность возникновения пожара в результате утечки топлива и наличия источника воспламенения. При утечке топлива в технологические колодцы создается опасность образования взрывоопасных концентраций топливно-воздушной смеси в технологических колодцах, что при наличии источника инициирования взрыва может обусловить взрыв топливно-воздушной смеси в технологических колодцах и создать условия для дальнейшего развития аварии в подземных хранилищах.

Бензины всех марок и некоторые виды дизтоплива относятся к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), другие виды дизтоплива – к горючим жидкостям (ГЖ).

К ЛВЖ относятся горючие жидкости с температурой вспышки паров, не превышающей 61°C.

К ГЖ относятся нефтепродукты, температура вспышки паров которых выше 61°C.

Температурой вспышки называется наименьшая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы способные вспыхивать в воздухе от внешнего источника зажигания; устойчивого горения вещества при этом не возникает.

Температурой воспламенения называется наименьшая температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после воспламенения их от внешнего источника зажигания вещество устойчиво горит.

Температурой самовоспламенения называется наименьшая температура горючего вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермической реакции, приводящее к возникновению пламенного горения.

Температурными пределами воспламенения паров в воздухе (нижний температурный предел воспламенения – НТПВ; верхний температурный предел воспламенения – ВТПВ) называются такие температуры вещества, при которых его насыщенные пары образуют концентрации, равные соответственно нижнему или верхнему концентрационным пределам воспламенения.

Нижним пределом взрывоопасной концентрации называется такая концентрация паров нефтепродукта с воздухом, ниже которой смесь взрываться не будет.

Верхним пределом взрывоопасной концентрации называется такая концентрация паров нефтепродукта с воздухом, выше которой смесь взрываться не будет.

Зона, лежащая в границах нижнего и верхнего пределов взрывоопасных концентраций смеси паров нефтепродуктов с воздухом, называется *зоной взрываемости или пределом воспламенения*.

Сценарии возникновения и развития возможных аварий

События, способные привести к возникновению аварии (нарушение герметичности технологической системы, выход опасного вещества в окружающее пространство) могут быть разделены на две основные группы:

События 1-ой группы – события, которые могут привести к нарушению нормального технологического режима АЗС. Например: износ материалов, деталей оборудования, крепежа, прокладок, сальников и т. д.; выход из строя средств защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний; болезненное наркотическое состояние работника АЗС.

События 2-ой группы – аварийные ситуации нарушения нормального технологического режима или состояния оборудования, приводящие к тому, что герметичность технологической системы может быть нарушена. Например: переполнение резервуаров, баков автотранспорта; эксплуатация негерметичного насоса топливораздаточной колонки; включение в работу негерметичных участков трубопровода; работы с искрящим инструментом и т. д.

Для АЗС характерны следующие виды аварий:

Пожар пролива – горение проливов жидких продуктов – диффузионное горение паров ЛВЖ и ГЖ в воздухе над поверхностью жидкости;

Огненный шар – диффузионное горение плотных, слабо смешанных с воздухом парогазовых облаков с поверхности облака в открытом пространстве;

Взрыв – детонационное горение – сгорание предварительно перемешанных газо- или паро-воздушных облаков со сверхзвуковыми скоростями в открытом пространстве или в замкнутом объеме;

Хлопок – вспышка, волна пламени, сгорание предварительно перемешанных газо- или паро-воздушных облаков с дозвуковыми скоростями в открытом или замкнутом пространстве.

Наибольшую опасность для людей и материальных ценностей представляют поражающие факторы взрыва и огненных шаров:

- загорание автомобиля у топливораздаточной колонки;
- взрыв бензобака автомобиля;
- загорание топливораздаточной колонки;
- загорание и взрыв бензовоза и хранилищ нефтепродуктов.

Горение – это сложный химический процесс, основой которого является быстро протекающая химическая реакция, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и света.

Скорость горения зависит от наличия горючего вещества и окислителя (кислорода воздуха), их определенной температуры и агрегатного состояния.

Пары нефтепродуктов окисляются быстрее, чем жидкие нефтепродукты. Это связано с тем, что концентрация окислителя (кислорода) в парогазовой фазе значительно больше, чем у поверхности жидкой фазы и в жидкой фазе.

Причины пожаров и взрывов

1. *Открытый огонь*: зажженная спичка, лампа, брошенный окурок сигареты у хранилищ, у заправочной станции, проведение ремонтных работ с источником открытого огня;

2. *Искра*: выполнение работ стальным инструментом, из выхлопных труб машин, эксплуатация неисправного электрооборудования, всякая другая искра, независимо от природы ее происхождения;

3. *Разряды статистического электричества*:

При определенных условиях налива нефтепродуктов в емкости (при увеличении скорости налива) заряды статистического электричества накапливаются быстрее, чем отводятся через заземление, так как бензин и дизельное топливо относятся к диэлектрикам с очень слабой проводимостью электрического тока. В таких случаях с увеличением уровня налива топлива в емкости напряжение статистического электричества будет возрастать и может достигнуть такого значения, при котором в момент приближения свободной поверхности топлива к стенкам заливной горловины (при наполнении емкости свыше 90 % наполнения) вследствие разности потенциалов произойдет искровой разряд, способный вызвать воспламенение или взрыв смеси паров с воздухом и пожар. Так как давление в момент взрыва достигает 1470 кПа, а температура взрыва колеблется в пределах 1500–1800 °С может произойти разгерметизация сосуда. Это в свою очередь обусловит доступ кислорода в разгерметизированный сосуд, развитие пожара или образование огненного шара, дальнейшее развитие аварии.

Плавающие на поверхности нефтепродуктов предметы могут накопить заряды статистического электричества и, приблизившись к стенке резервуара, вызвать искровой разряд, который будет источником воспламенения смеси с воздухом.

4. *Природные катаклизмы*;

5. Опасность возникновения аварии и аварийной ситуации может возникнуть при вскрытии резервуаров для подготовки к проведению ремонтных и технологических работ и при проведении ремонтных работ в резервуарах. При этом особую опасность представляют собой *пиррофорные*

отложения железа, способные к самовоспламенению в присутствии кислорода воздуха при обычной температуре. Наиболее опасные пирофорные отложения в том случае, если они образовались под слоем нефтепродуктов.

Быстрое освобождение емкости от нефтепродуктов создает благоприятные условия для интенсивного взаимодействия этих отложений с кислородом паро-воздушной смеси. При этом пирофорные отложения могут разогреться до температуры 500–700 °С и послужить источником воспламенения и загорания нефтепродуктов. Для предотвращения аварийной ситуации или аварии, вызываемой пирофорными отложениями, необходимо проводить своевременную зачистку резервуаров.

Оценка поражающих факторов опасности АЗС

К поражающим факторам при авариях на АЗС относятся:

- поражающий фактор избыточного давления на фронте падающей ударной волны при взрывах;
- интенсивность теплового излучения пожара пролива и огненных шаров;
- воздействие токсичных продуктов горения.

Каждый из перечисленных выше факторов характеризуется определенными параметрами. В частности, облучение тепловым излучением может оцениваться по интенсивности облучения (плотности теплового потока), обычно выражаемой в кВт/м², а также по количеству тепловой энергии, поступающей на единицу поверхности объекта за определенное время, которая, по сути, является тепловым импульсом.

Степень травмирования (степень воздействия теплового излучения) зависит от интенсивности выделения тепла при пожаре (табл. 1.5), а также от расстояния, наличия преград на пути его распространения, включая и оптические неоднородности в атмосфере (аэрозоли, пыль и др.).

Таблица 1.5

Поражение людей тепловым излучением

Степень травмирования	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²
Ожоги I степени	49
Ожоги II степени	27,4
Ожоги III степени	9,6
Болевой порог (болезненные ощущения на коже и слизистой оболочке)	1,4

Вторым поражающим фактором при взрывных превращениях топливно-воздушной смеси является тепловое излучение из огневого шара. Расчет огневого шара подробно рассмотрен в практической работе 2.

Аварии в угольной промышленности

Угольная промышленность России является одной из базовых отраслей народного хозяйства и представляет собой сложный производственно-технологический комплекс, включающий предприятия по добыче угля и сланца и их обогащению, угольное машиностроение, шахтное строительство, научно-проектные организации.

Подземные аварии – внезапное нарушение нормального состояния выработок, механизмов и состава рудничной атмосферы, в результате которого создаётся угроза жизни людей, занятых на подземных работах.

Шахтный воздух – это атмосферный воздух, который, проходя по выработкам, претерпевает определенные изменения: в нем понижается содержание кислорода за счет увеличения содержания углекислого газа и азота, он насыщается ядовитыми и взрывчатыми газами (оксид углерода, сероводород, водород, сернистый ангидрид, оксиды азота, аммиак, хлор, метан). Кроме того, в нем содержится угольная и породная пыль. Изменяются также и физические свойства воздуха: влажность, температура, давление и плотность.

Из всех аварий на шахтах наиболее сложными и опасными являются взрывы метана и угольной пыли, в результате чего часто возникают пожары, обрушения, завалы в горных выработках, отравления и другие тяжелые последствия.

Основным мероприятием против скопления метана является вентиляция, которая считается эффективной, если во всех действующих выработках будет допустимая концентрация метана.

Угольная пыль по многим параметрам является более опасным веществом на шахте, чем метан, а именно: участие пыли в газо-воздушной метановой среде снижает порог взрываемости метана до 3–4 %. За счет участия пыли во взрыве метана повышается сила взрыва, часто на порядок по сравнению только метановоздушной смеси. При взрыве пыли или участии ее во взрыве метана, как правило, часть пыли частично сгорает, поэтому образуется большой объем оксидов углерода и других токсичных газов высокой концентрации, что при взрыве не менее опасно для находящихся в шахте людей, чем ударная волна и фронт пламени. Число погибших от отравления бывает значительно больше, чем непосредственно от взрыва.

Характерной особенностью взрывов метана и угольной пыли с катастрофическими последствиями и гибелью людей является то обстоятельство, что взрывная ударная волна воздуха, фронт пламени по ходу движения поднимают все дополнительные объемы пыли, взрывая или поджигая ее. В этом случае взрыв распространяется до 8–10 км от эпицентра, а продуктов его бывает достаточно, что бы заполнить все выработки крыла, горизонта шахты.

Степень взрываемости *пылевоздушной смеси* зависит от:

- размеров пылинок (дисперсность);
- химического и минерального состава пыли (пыль, при содержании в ней негорючих компонентов от 60–70 % не взрывчата);
- выхода летучих продуктов при нагреве количества летающей пыли (10–600 г/м³);
- наличия в атмосфере горючих газов (например, при СН₄=0, нижний предел взрываемости пыли 40 г/м³; при СН₄=0,5 % – 30 г/м³; при СН₄=2 % – 10 г/м³);
- влажности пыли (при влажности 20–25 % не взрывается).

Для того чтобы предотвратить взрывы пыли на угольных шахтах и в итоге уменьшить их последствия, необходимо следующее:

- 1) не допускать инициирующих взрывов за счет отвода метана и исключения возможных источников воспламенения;
- 2) увлажнить угольную пыль;
- 3) использовать инертный порошок (таким порошком является не содержащая силикатов пыль, обычно известковая). Порошок загружается в желоб, подвешенный к потолку штольни. Когда происходит взрыв, желоб раскачивается и инертный порошок разбрасывается, перемешиваясь в воздухе с угольной пылью. Известь поглощает тепло, выделяющееся при горении, и таким образом, скорость распространения пламени уменьшается.

Внезапные выбросы угля и газа

Внезапные выбросы – это быстропротекающий процесс разрушения горного массива, сопровождающийся отбросом угля и усиленным газовыделением. Обычно внезапные выбросы появляются при глубине разработки 200–300 м, с ростом интенсивности, с увеличением глубины разработки, мощности и угла падения пласта.

Внезапный выброс происходит в две фазы:

1. *Подготовительная*: под воздействием горного давления возникают колебания напряжённого состояния горных пород и угольного пласта (так как породы и пласт состоят из пачек различной крепости). Чем менее однороден пласт, тем более скачкообразен переход от одного состояния к другому. Происходит нарушение равновесия между свободным газом и газом, находящемся в угле в связанном состоянии.

2. *Собственно выброс*. При полёте частиц раздробленного угля, из них также выделяется газ, что ведёт к дальнейшему дроблению, при чём образуется тончайшая пыль.

Гидродинамические аварии

Гидродинамическая авария – это чрезвычайное событие, связанное с выводом из строя (разрушением) гидротехнического сооружения или его части и неуправляемым перемещением больших масс воды, несущих разрушения и затопление обширных территорий.

Гидротехническое сооружение – народно-хозяйственный объект, находящийся на или вблизи водной поверхности, предназначенный для:

- использования кинетической энергии движения воды с целью преобразования в другие виды энергии;
- охлаждения отработавших паров ТЭС и АЭС;
- мелиорации;
- защиты прибрежной территории воды;
- забора воды для орошения и водоснабжения;
- осушения;
- рыбозащиты;
- регулирования уровня воды;
- обеспечения деятельности речных и морских портов, судостроительных и судоремонтных предприятий, судоходства;
- подводной добычи, хранения и транспортировки (трубопроводы) полезных ископаемых (нефти и газа).

Разрушение (прорыв) гидротехнических сооружений происходит в результате действия сил природы (землетрясения, ураганы, размывы плотин) или воздействия человека, а также из-за конструктивных дефектов или ошибок проектирования.

К основным гидротехническим сооружениям относятся: плотины, водообразные водосборные сооружения, запруды,

Плотины – гидротехнические сооружения (искусственные плотины) или природные образования (естественные плотины), ограничивающие сток, создающие водохранилища и разницу уровней воды по руслу реки.

Водоохранилища могут быть долговременными (как правило, образованными гидротехническими сооружениями; временными и постоянными) и кратковременными (за счет действия сил природы; оползней, селей, лавин, обвалов, землетрясений и т. п.).

Проран – повреждение в теле плотины, образовавшееся в результате ее размыва.

Устремляющийся в проран поток воды образует волну прорыва, имеющую значительную высоту гребня и скорость движения и, обладающую большой разрушительной силой. Волна прорыва образуется при одновременном наложении двух процессов: падения вод водохранилища из верхнего в нижний бьеф, порождающего волну и резкого увеличения объема воды в месте падения, что вызывает перетек воды из этого места в другие, где уровень воды ниже.

Высота волны прорыва и скорость ее распространения зависят от размера прорана, разницы уровней воды в верхнем и нижнем бьефе, гидрологических и топографических условий русла реки и ее поймы.

Скорость продвижения волны прорыва, как правило, находится в диапазоне от 3 до 25 км/ч, а высота 2–50 м.

Основным следствием прорыва плотины при гидродинамических авариях является катастрофическое затопление местности, заключающееся в стремительном затоплении волной прорыва нижерасположенной местности и возникновением наводнения.

Катастрофическое затопление характеризуется:

- максимально возможными высотой и скоростью волны прорыва;
- расчетным временем прихода гребня и фронта волны прорыва в соответствующий створ;
- границами зоны возможного затопления;
- максимальной глубиной затопления конкретного участка местности;
- длительностью затопления территории.

При разрушениях гидротехнических сооружений затопляется часть прилегающей к реке местности, которая называется зоной возможного затопления.

В зависимости от последствий воздействия гидротока, образующегося при гидротехнической аварии, на территории возможного затопления следует выделять зону катастрофического затопления, в пределах которой распространяется волна прорыва, вызывающая массовые потери людей, разрушения зданий и сооружений, уничтожение других материальных ценностей

Время в течении которого затопленные территории могут находиться под водой, колеблется от 4 часов до нескольких суток.

Аварии на химически опасных объектах

Химически опасными являются все объекты, на которых в той или иной мере применяются химические технологии и которые производят, перерабатывают, используют, транспортируют, обрабатывают, хранят или удаляют опасные (вредные) вещества.

К таким объектам относятся: химические, нефтехимические и подобные им заводы, где осуществляется получение, использование и хранение аварийно химически опасных веществ (АХОВ), а также предприятия, близкие к химическим производствам, на которых применяются вредные химические вещества и в технологических процессах предусматриваются химические превращения.

Под опасными веществами обычно понимаются индивидуальные вещества (соединения) природного или искусственного происхождения, способные в условиях производства, применения, транспортировки, переработки, а также в бытовых условиях оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду. Эти вещества могут иметь не только химическую, но и биологическую природу.

При авариях на химически опасных объектах поражение людей в большинстве случаев обуславливается попаданием опасных химических веществ внутрь организма, главным образом ингаляционным путем. В

настоящее время известно более 54 тысяч химических соединений, которые могут быть отнесены к ядам, вследствие их способности вызывать острые и хронические интоксикации. Однако поражение людей на уровне пороговых токсодоз способна вызывать лишь малая их часть. Например, перечень веществ, представляющих опасность ингаляционных отравлений для людей, который подготовлен Агентством по охране окружающей среды США, включает всего 308 наименований. Причем далеко не все вещества, включенные в этот перечень, даже при крупных утечках, представляют реальную угрозу для населения.

Принято считать, что *к наиболее опасным (чрезвычайно и высокотоксичным) химическим веществам* относятся:

- некоторые соединения металлов (органические и неорганические производные мышьяка, ртути, кадмия, свинца, таллия, цинка, и др.);
- карбонилы металлов (тетракарбонил никеля, пентакарбонил железа);
- вещества, содержащие цианогруппу (синильная кислота и ее соли, бензальдегидциангидрин, нитрилы, органические изоцианаты);
- соединения фосфора (фосфорорганические соединения, хлорид фосфора, оксихлорид фосфора, фосфин, фосфидин);
- фторорганические соединения (фторуксусная кислота и ее эфиры, фторэтанол и др.);
- хлоргидрины (этиленхлоргидрин, эпихлоргидрин); галогены (хлор, бром);
- другие соединения (этиленоксид, аллиловый спирт, метилбромид, фосген).

К сильнотоксичным химическим веществам относятся:

- минеральные и органические кислоты (серная, азотная, фосфорная, уксусная и др.);
- щелочи (аммиак, натронная известь, едкий калий и др.);
- соединения серы (диметилсульфат, растворимые сульфиды, сероуглерод, растворимые тиоцианаты, хлорид и фторид серы);
- хлор- и бромзамещенные производные углеводородов (хлористый и бромистый метил);
- некоторые спирты и альдегиды кислот;
- органические и неорганические нитро- и аминсоединения (гидроксиламин, гидразин, анилин, толуидин, амилнитрит, нитробензол, нитротолуол, динитрофенол);
- фенолы, крезолы их производные;
- гетероциклические соединения.

Значительная часть из перечисленных выше веществ может стать причиной тяжелого поражения людей при авариях на объектах, где осуществляется их хранение и использование в технических процессах.

Критерии, характеризующие токсическое воздействие опасных химических веществ

Степень влияния химической обстановки, возникающей при выбросах АХОВ, на здоровье и жизнедеятельность людей, а также на функционирование народнохозяйственных и других объектов выражается через токсикологические и пространственно-временные параметры.

Токсичность АХОВ определяется количеством вещества, вызывающего поражающий эффект, и характером токсического воздействия на организм человека.

В настоящее время принято в качестве количественной меры токсичности АХОВ использовать величины их концентраций и доз вещества. Причем наиболее часто пользуются такими характеристиками, как пороговая концентрация, предел переносимости, смертельная концентрация, значения токсических доз, соответствующих определенному эффекту поражения.

Под пороговой понимается минимальная концентрация, при которой возникает ощутимый физиологический эффект и наблюдаются первые признаки поражения.

Предел переносимости – это концентрация, которую человек может выдержать определенное время, не получив устойчивого поражения. Аналогией для предела переносимости является предельно допустимая концентрация.

Токсическая доза (токсодоза) выражается количеством вещества, вызывающим определенный токсический эффект.

При анализе и оценке химической обстановки, возникающей при распространении в окружающей среде АХОВ, принято величину токсодозы определять как произведение средней концентрации АХОВ в воздухе за время пребывания в зараженной атмосфере – в случае *ингаляционных поражений* и как величину массы жидкого или твердого АХОВ, попавшей на кожные покровы человека – *при кожно-резорбтивных поражениях*.

Условия, способы и правила хранения АХОВ на предприятиях России

Для хранения АХОВ на складах объектов используется несколько способов. АХОВ могут храниться в резервуарах под высоким давлением. В этом случае давление, на которое рассчитывается резервуар, соответствует давлению паров продукта над жидкостью при максимальной температуре окружающей среды. Для хранения АХОВ используется и изотермические хранилища при давлении близком к атмосферному или при давлении до 1 Па. При таком способе хранения емкости искусственно охлаждаются. Как известно, чем ниже температура, тем меньше давление паров. Аммиак, охлажденный до температуры $-33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, будет иметь давление паров, близкое к атмосферному. Для пропана эта температура составляет $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вы-

сококипящие АХОВ могут храниться при температуре окружающей среды в закрытых емкостях.

Принятые у нас в стране условия и способы хранения АХОВ приведены в справочной литературы..

Наземные резервуары, как правило, располагаются группами. По периметру территории, где они располагаются, предусматривается обвалование или ограждения из устойчивых материалов.

Классификация АХОВ по степени воздействия на организм человека

Важнейшей характеристикой АХОВ является их токсичность, под которой понимается способность вещества оказывать вредное воздействие на организм человека, животных и растения.

Необходимо отметить, что по степени воздействия на организм человека АХОВ подразделяются на несколько классов опасности: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные.

Возможности и причины возникновения аварий, их классификация и фазы развития

Несмотря на предпринимаемые меры в области промышленной безопасности (многие потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них оценивается величиной порядка 10^{-4}) полностью исключить вероятность возникновения аварии практически невозможно.

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

Одна из возможных причин аварий – стихийные бедствия.

К основным угрозам в техногенной сфере, которые могут реализоваться в виде аварий и катастроф, следует отнести:

- значительный износ и старение основных производственных фондов без их своевременного обновления и модернизации;
- нерациональное размещение, с точки зрения техногенной безопасности, на территории страны опасных производственных объектов экономики;
- технологическая отсталость производства, низкий уровень внедрения высокотехнологичных наукоёмких средств производства и безопасных технологий;
- просчёты в проектировании, строительстве, модернизации и эксплуатации опасных производственных объектов экономики;
- увеличение объёмов производства, транспортировки, хранения и использования опасных веществ, материалов и т. п.;

- свёртывание научно-исследовательских работ в области обеспечения техногенной безопасности;
- снижение профессионального уровня инженерно-технических работников и промышленно-производственного персонала;
- снижение ответственности и уровня производственной, технологической дисциплины, нарушение норм и правил производственной безопасности;
- недостаточность мер, предпринимаемых собственниками и менеджерами потенциально опасных объектов, по предотвращению аварий и катастроф на них;
- отсутствие и недостаточная надёжность локальных или централизованных систем мониторинга окружающей среды, контроля и диагностики состояния потенциально опасных в техногенном отношении объектов;
- сокращение числа персонала технико-надзорных органов, отсутствие или недостаточная готовность профессиональных аварийно-спасательных служб на объектах национальной экономики;
- недостаточный охват экспертизой безопасности проектов создания производств.

Классификация аварий по масштабам последствий

Аварии на химически опасных объектах по типу возникновения делятся на *производственные и транспортные*, при которых нарушается герметичность емкостей трубопроводов, содержащих АХОВ.

По масштабам последствий химические аварии имеют свою специфическую классификацию:

- локальные – последствия которых ограничиваются одним цехом (агрегатом, сооружением) химически опасного объекта;
- местные – последствия которых ограничиваются производственной площадкой химически опасного объекта или его санитарно-защитной зоной;
- общие – последствия которых распространяются за пределы санитарно-защитной зоны химически опасного объекта.

По сфере возникновения химические аварии классифицируются на:

- аварии на хранилищах АХОВ
- аварии при введении технологических процессов (возможные источники заражения – технологические емкости и реакционная аппаратура);
- аварии при транспортировке АХОВ по трубопроводу или железнодорожными цистернами по территории объекта.

Фазы развития аварий

В химических авариях выделяют 4 фазы:

- 1) инициирование аварий;
- 2) развитие аварий;
- 3) выход последствий аварий за пределы объекта;

4) локализация и ликвидация последствий аварии.
Содержание каждой фазы отражено в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Фазы развития химических аварий

Фаза	Содержание фазы	Аварии на хранилищах и при ведении технологических процессов	Транспортные аварии
1	Инициирование аварии вследствие накопления отклонений от нормального процесса или неконтролируемой случайности, в результате чего система приходит в неустойчивое состояние	Накопление дефектов в оборудовании; ошибки при проектировании, строительстве и монтаже оборудования; ошибки в эксплуатации оборудования; нарушение технологического процесса	Ухудшение состояния железнодорожного пути; некачественное ведение ремонтных работ, возникновение неполадок в подвижном составе; нарушение правил перевозок; столкновение с другими транспортными объектами; коррозия трубопроводов и т. д.
2	Развитие аварии, в течение которой происходит нарушение герметичности	Возникновение пожаров, взрывов, разливы. Выбросы АХОВ в окружающую среду	Сход с рельсов цистерн, пожары, взрывы, разливы, выбросы АХОВ в окружающую среду
3	Выход последствий аварий за пределы объекта	Распространение газовой волны и ее выход за пределы объекта; поражающее воздействие АХОВ на население и производственный персонал	
4	Локализация и ликвидация последствий аварии	Проведение мероприятий химической защиты, в том числе по локализации и ликвидации источника заражения	

Следует отметить, что вторая фаза развития химических аварий оказывает определяющее влияние на масштабы последствий аварии, так как от особенностей попадания АХОВ в атмосферу зависят дальность распространения газовой волны и время поражающего действия.

Закономерности распространения АХОВ

При разрушении оболочки емкости, содержащей АХОВ под давлением, с последующим разливом большого количества АХОВ в поддон (об-

валовку) в дальнейшем, в течение достаточно длительного отрезка времени, может происходить его испарение и распространение в атмосфере. В этом процессе принято выделять три периода:

- бурное испарение основной части вылившегося АХОВ за счет разности упругости насыщенных паров АХОВ в емкости и их парциального давления в воздухе. При этом формируется облако с концентрациями АХОВ, как правило, значительно превышающими предельно допустимые концентрации. Такое облако обычно называют *первичным*;

- неустойчивое испарение АХОВ за счет тепла, поступающего от поддона (обваловки), притока тепла извне и за счет изменения теплосодержания жидкости;

- длительный по времени (часы, сутки и более) период стационарного процесса испарения АХОВ за счет тепла окружающего воздуха.

Для аварии с разрушением оболочки изотермического хранилища, сопровождающимся разливом в поддон (обваловку) большого количества АХОВ, характерны главным образом неустойчивое (второй период) и стационарное (третий период) испарение АХОВ. Первичное облако зараженного АХОВ воздуха в данном случае формируется за счет процесса неустойчивого, но все же быстрого испарения. При этом количество АХОВ, участвующего в образовании первичного облака даже в летнее время, как правило, не превышает 3–5 %.

При аварийном вскрытии оболочек с АХОВ, представляющими высококипящие жидкости, первичное облако не формируется.

При всех видах аварий на объектах с АХОВ, связанных с выбросами и проливами этих веществ, происходит образование *вторичного облака*, содержащего АХОВ, за счет испарения с площади поверхности зеркала пролива.

Основными факторами риска при авариях на химически опасных объектах являются:

- первичное облако загрязненного АХОВ воздуха, практически мгновенно формирующееся в зоне выброса или пролива АХОВ и распространяющееся в приземном слое атмосферы по ветру;

- вторичное облако загрязненного АХОВ воздуха, формирующееся за счет стационарного, достаточно длительного по времени испарения выброшенного или пролитого АХОВ. Этот источник загрязнения воздуха иногда условно называют постоянно действующим

Классификация чрезвычайных ситуаций, обусловленных выбросом(разливом) АХОВ

Наличие большого количества факторов, от которых зависит безопасность функционирования химически опасных объектов, определяет

сложность решения проблемы предупреждения химических аварий и катастроф.

В целом чрезвычайные ситуации, обусловленные выбросом (разливом) АХОВ, подразделяются на три типа:

- с образованием только первичного облака АХОВ;
- с образованием первичного и вторичного облака АХОВ;
- с заражением окружающей среды (грунта, водоисточников, технологического оборудования и т. п.) высококипящими жидкостями и твердыми веществами без образования первичного и вторичного облака.

Большинство АХОВ при аварийных ситуациях сравнительно легко переходит из одного агрегатного состояния в другое, чаще всего из жидкого в парообразное (газообразное), из твердого в аэрозольное и наносят массовые поражения людям, животным и растениям.

Возможный выход облака зараженного воздуха за пределы территории химически опасного объекта, в случае аварии на нем, обуславливает химическую опасность для административно-территориальной единицы, где такой объект расположен. Аналогично химически опасным объектам в основу классификации административно-территориальных единиц (района, города, области, края, республики) также положена опасность поражения населения АХОВ. Критерием для отнесения административно-территориальной единицы к той или иной степени опасности в этом случае является процент населения, проживающего в зоне возможного заражения в случае аварии на химически опасном объекте.

Классификация административно-территориальных единиц по химической опасности приведена в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Классификация административно-территориальных единиц по химической опасности

Степени химической опасности	Количество населения, проживающего в зоне возможного заражения, %
I	Более 50
II	30–50
III	10–30
IV	До 10

Классификация предприятий по химической опасности

Объекты, где производятся, перерабатываются, используются, транспортируются, хранятся или удаляются аварийно химически опасные вещества принято классифицировать по степени опасности для населения и территорий. Такая классификация, по степени химической опасности в зависимости от принятых критериев, приведена в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Классификация предприятий по химической опасности

Степени химической опасности объектов	Количество человек, попадающих в зону химического заражения при аварии
I	Более 75 тыс.
II	От 40 до 75 тыс.
III	Менее 40 тыс.
IV*	Оценке не подлежит

*Примечание.** Зона возможного заражения АХОВ при аварии не выходит за пределы территории объекта или его санитарно-защитной зоны.

Безопасность функционирования химически опасных объектов зависит от многих факторов: физико-химических свойств сырья, продуктов производства, характера технологического процесса, конструкции и надежности оборудования, условий хранения и транспортирования химических веществ, наличия и состояния контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, эффективности средств противоаварийной защиты и т. д. Кроме того, безопасность производства, использования, хранения и перевозок АХОВ в значительной степени зависит от уровня организации профилактической работы, своевременности и качества планово-предупредительных и ремонтных работ, подготовленности и практических навыков персонала, наличия системы надзора за состоянием технических средств противоаварийной защиты.

Аварии на АЭС и других ядерных энергетических установках

К основным источникам загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами (РВ) относятся производственные предприятия, добывающие и перерабатывающие сырье, содержащее РВ, атомные электростанции (АЭС), радиохимические заводы, научно-исследовательские институты и др. объекты.

АЭС являются составной частью довольно сложной совокупности ядерного производства, называемой ядерно-топливным комплексом или циклом (ЯТЦ). Он включает в себя:

- добычу и переработку урановой руды с получением химических концентратов урана (рудодобывающие и рудоперерабатывающие заводы),
- получение чистых соединений урана из концентратов (аффинажные заводы),
- производство гексафторида урана и разделение его изотопов (заводы по получению гексафторида и разделению его изотопов),
- изготовление топлива для получения энергии на АЭС,
- переработку отработавшего (облученного) на АЭС ядерного топлива (радиохимические заводы или заводы по регенерации топлива),

– отработку отходов, хранение или захоронение средне- и высокотоксичных отходов и транспортировку ядерных продуктов между предприятиями ЯТЦ.

К числу *основных причин радиационного риска* объектов ЯТЦ обычно относят:

– неправильное хранение высокоактивных ядерных отходов; под радиоактивными отходами понимают непригодные к использованию в настоящее время и в обозримом будущем жидкие и твердые материалы и предметы, содержащие радионуклиды в концентрации, превышающей ПДК или ПДУ (предельно допустимые концентрации и уровни);

– аварии ядерных реакторов и на предприятиях по переработке облученного топлива;

– низкоактивные радиоактивные выбросы при нормальной эксплуатации объектов ЯТЦ (главным образом, ядерных реакторов и радиохимических предприятий);

– нарушение технологической дисциплины.

Классификация аварий на объектах ядерно-топливного цикла

Аварии на радиационно-опасных объектах подразделяются на:

– *проектные* – аварии, для которой определены исходные события аварийных процессов, характерные для того или иного объекта или радиационного узла, конечные состояния (контролируемые состояния элементов и систем объекта после аварии), предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничение последствий аварий установленными пределами.

– *проектные с наибольшими последствиями* (максимально проектные) – характеризуются наиболее тяжелыми исходными событиями, обуславливающими возникновение аварийного процесса на данном объекте. Эти события приводят к максимально возможным рамкам установленных проектных пределов радиационным последствиям.

– *запроектные (гипотетические)* – аварии, которые вызываются не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями и сопровождается дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности.

Основными и наиболее опасными источниками ионизирующих излучений и радиоактивного заражения окружающей среды являются аварии на АЭС.

Под радиационными авариями на АЭС понимают нарушение их безопасной эксплуатации, при котором произошел выход радиоактивных продуктов и (или) ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные значения.

Аварии на АЭС в зависимости от характера и масштабов последствий подразделяют на четыре категории:

Первая – *локальная авария*. Происходит выход радиоактивных продуктов за предусмотренные границы оборудования, технологических систем, зданий и сооружений. Количество выброшенных радиоактивных веществ превышает установленные значения, но зона радиоактивного загрязнения внешней среды не выходит за пределы промплощадки АЭС.

Вторая – *местная авария*. Выход радиоактивных веществ происходит за пределы промплощадки, но область радиоактивного загрязнения находится внутри санитарно-защитной зоны АЭС. В указанной зоне возможно облучение персонала в дозах, превышающих допустимые, а концентрация радиоактивных веществ в воздухе и уровень радиоактивных загрязнений поверхностей в помещениях и на территориях АЭС, а также в санитарно-защитной зоне может быть выше допустимой.

Третья – *средняя авария*. Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы санитарно-защитной зоны, но локализуется в пределах ближайшего города, района.

Четвертая – *крупная авария*. Область радиоактивного загрязнения выходит за пределы 100 км и охватывает несколько областей, республик, государств или один или несколько городов с количеством населения более 1 млн человек.

Международным агентством по атомной энергетике разработана шкала событий на АЭС. В соответствии с этой шкалой аварии на АЭС подразделяются также по характеру и масштабам последствий, а некоторые – и по причинам, их вызвавшим.

Радиоактивное заражение при аварии АЭС может происходить за счет выброса парогазовой фазы (авария без разрушения активной зоны). При этом высота выброса может составлять 150–200 м, время выброса – 20–30 мин. Более серьезной аварией является выброс продуктов деления из реактора (авария с разрушением активной зоны). При этом радиоактивные продукты выбрасываются на высоту 2–3 км, продолжительность выброса – несколько суток до окончания герметизации реактора.

В процессе развития аварии, связанной с выбросом радиоактивных веществ, обычно выделяют три стадии:

1. *Ранняя стадия* – включает два периода: период до начала выброса, когда уже имеет место потенциальная возможность облучения за пределами радиационно-опасного объекта, и период, в течение которого происходит большая часть выброса. Особенностью ранней фазы является то, что принимаемые решения по мерам защиты основываются на прогнозе и данных объектовой системы контроля. По мере поступления информации о радиационной обстановке за пределами объекта принятые решения подтверждаются или корректируются.

2. *Промежуточная стадия* – охватывает период, который начинается с первых нескольких часов после начала выброса и длится в течение нескольких дней и более. Основным источником данных для дозовых оценок в этой фазе являются измерения мощностей доз облучения от загрязненной поверхности земли, объектов и т. п. и концентрации радиоактивных веществ в воздухе, воде и пищевых продуктах.

3. *Поздняя стадия* – иногда называемая восстановительная, характеризуется нормализацией обстановки. Она может продолжаться, в зависимости от величины и радионуклидного состава выброса, характера и размеров зоны загрязнения, от нескольких недель до нескольких лет.

Характер радиоактивного заражения при авариях на АЭС имеют ряд особенностей:

1. Длительность радиоактивного заражения окружающей среды вследствие наличия в смеси изотопов веществ с большим периодом полураспада (уран – 235, $T_{1/2} = 700$ млн лет; стронций – 90, $T_{1/2} = 28,6$ года; цезий – 137, $T_{1/2} = 30$ лет и т. д.).

2. Сложность конфигурации границ зон заражения вследствие продолжительности выбросов и изменения за это время направления ветра (распространение РВ в одном направлении составляет 3–12 часов).

3. «Очаговое» заражение в дальней (более 1000 км) зоне.

При авариях на АЭС с выбросом радиоактивных веществ возникают районы радиоактивного заражения (загрязнения) местности (РЗМ) в форме окружности (в районе аварии) и вытянутого эллипса (по следу облака) – правильной формы при нормальных топо- и метео- условиях и неправильной – при ненормальных (сложных) топо- и метеоусловиях (пересеченная местность, изменение направления и скорости ветра и др.).

Воздействие радиоактивного заражения местности на людей осуществляется в виде облучения:

- *внутреннего* – с воздухом, пищей, водой
- *внешнего* – от проходящего облака и радиоактивных веществ, выпавших на подстилающую поверхность
- *контактного* – от радиоактивных веществ на кожных покровах, одежде.

В разделе 2 приведены практические работы, позволяющие оценить аварийные риски.

2. Практические работы

Практическая работа 1 Оценка риска при аварии со взрывами

Цель работы: познакомиться с разными типами моделей оценки аварийных рисков для людей и материальных ресурсов и научиться оценивать обстановку при аварийных взрывах.

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 ΔP_{ϕ} (кПа), в зависимости от которого находится степень поражения людей и инженерно-технических сооружений. Этот подход отражают табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1

Зависимость степени поражения человека от избыточного давления во фронте ударной волны (ΔP_{ϕ} (кПа))

ΔP_{ϕ} (кПа)	<10	10–40	40–60	60–100	>100
Степень поражения человека	Безопасный уровень	Легкая (ушибы, повреждения слуха)	Средняя (кровотечения, 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 1.2

**Зависимость степени разрушения зданий от избыточного давления
во фронте ударной волны (ΔP_{ϕ} (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

*Примечание:** 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 $P_{пор}$ (эффект поражения) измеряется в долях единицы или % и определяется по функции Гаусса через пробит-функцию:

$$P_{пор} = f[Pr(D)],$$

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

$$Pr = a + b \ln D,$$

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

D – переменная, зависящая от уровня поражающего фактора.

В табл. 1.3 представлен вид пробит-функции для разных степеней поражения человека и разрушений зданий.

Таблица 1.3

Вид пробит-функции при поражающем действии ударной волны

Степень поражения	Пробит-функция (Pr)
1	2
Поражение человека	
1. разрыв барабанных перепонок	$Pr = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P_{\phi}$
2. контузия	$Pr = 5 - 5,74 \ln \left\{ \frac{4,2}{1 + \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}} + \frac{1,3}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}} \right\}$
3. летальный исход	$Pr = 5 - 2,44 \ln \left\{ \frac{7,38}{\Delta P_{\phi}} + \frac{1,9 \cdot 10^3}{\Delta P_{\phi} \cdot I_+} \right\}$

1	2
Разрушение зданий	
1. слабые разрушения	$\text{Pr} = 5 - 0,26 \ln \left\{ \left(\frac{4,6}{\Delta P_\phi} \right)^{3,9} + \left(\frac{0,11}{I_+} \right)^5 \right\}$
2. средние разрушения	$\text{Pr} = 5 - 0,26 \ln \left\{ \left(\frac{17,5}{\Delta P_\phi} \right)^{8,4} + \left(\frac{0,29}{I_+} \right)^{9,3} \right\}$
3. сильные разрушения	$\text{Pr} = 5 - 0,22 \ln \left\{ \left(\frac{40}{\Delta P_\phi} \right)^{7,4} + \left(\frac{0,46}{I_+} \right)^{11,3} \right\}$

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

Для определения вероятности поражения через пробит-функцию используют табл. 1.4.

Таблица 1.4

**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:

$$\Delta P_\phi = 95 \frac{G_{\text{тнт}}^{1/3}}{R} + 390 \frac{G_{\text{тнт}}^{2/3}}{R^2} + 1300 \frac{G_{\text{тнт}}}{R^3}, \quad (1.1)$$

где R – расстояние до эпицентра взрыва;

$G_{\text{тнт}}$ – тротильный эквивалент взорвавшегося вещества, кг, определяется по формуле

$$G_{\text{тнт}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{Q_{\text{тнт}}} G, \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{тнт}}$ – 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

$$I_+ = \frac{0,4G^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (1.3)$$

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

$$\Delta P_\phi = 81 \frac{m_{\text{np}}^{1/3}}{R} + 303 \frac{m_{\text{np}}^{2/3}}{R^2} + 505 \frac{m_{\text{np}}}{R^3}, \quad (1.4)$$

где m_{np} – приведенная масса пара или газа, участвующего во взрыве, кг, рассчитывается по формуле

$$m_{\text{np}} = \frac{Q_{\text{вв}}}{Q_{\text{тнт}}} mZ, \quad (1.5)$$

где $Q_{\text{вв}}$ и $Q_{\text{тнт}}$ – 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

$$I_+ = \frac{0,123m_{\text{np}}^{2/3}}{\sqrt{R}} \quad (1.6)$$

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 тротильный эквивалент взорвавшегося октогена:

$$G_{\text{тнт}} = \frac{5860}{4520} 50\,000 = 64\,823 \text{ кг}$$

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

$$\Delta P_{\phi}^{100} = 95 \frac{64 \cdot 823^{1/3}}{100} + 390 \frac{64 \cdot 823^{2/3}}{100^2} + 1300 \frac{64 \cdot 823}{100^3} = 185,36 \text{ кПа}$$

Полученная величина избыточного давления соответствует полному разрушению здания механических мастерских (табл. 1.2).

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

$$\Delta P_{\phi}^{500} = 95 \frac{64 \cdot 823^{1/3}}{500} + 390 \frac{64 \cdot 823^{2/3}}{500^2} + 1300 \frac{64 \cdot 823}{500^3} = 10,8 \text{ кПа}$$

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

$$I_{+} = \frac{0,4 \cdot 64 \cdot 823^{2/3}}{\sqrt{500}} = 29 \text{ кПа} \cdot \text{с}$$

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 табл. 1.4 значению пробит-функции равной 5.86 соответствует вероятность слабых разрушений 81 %.

Для средних разрушений:

$$\text{Pr} = 5 - 0,26 \ln \left\{ \left(\frac{17,5}{10,8} \right)^{8,4} + \left(\frac{0,29}{29} \right)^{9,3} \right\} = 3,95$$

По табл. 1.4 значению пробит-функции равной 3.95 соответствует вероятность средних разрушений 14 %.

Для сильных разрушений:

$$\text{Pr} = 5 - 0,22 \ln \left\{ \left(\frac{40}{10,8} \right)^{7,4} + \left(\frac{0,46}{29} \right)^{11,3} \right\} = 2,87$$

По табл. 1.4 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. Получить задание от преподавателя, при решении 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 м^3 при температуре окружающей среды $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Здания находятся на расстоянии 500 м от резервуара. Плотность сжиженного пропана 530 кг/м^3 , степень заполнения емкости – 80% по объему. Удельная теплота сгорания пропана $4,6 \cdot 10^4 \text{ кДж/кг}$, 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 м^3 на бетонном поддоне площадью 400 м^2 . На расстоянии 50 м от резервуара находится здание диспетчерской. Определить возможную степень разрушения здания диспетчерской в случае аварии с разрушением резервуара. Принять температуру окружающей среды равной $27 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность жидкого бензина – 740 кг/м^3 , молекулярная масса бензина – 94 кг/кмоль , скрытая теплота кипения бензина ($L_{\text{кип}}$ или $L_{\text{исп}}$) – 287 300 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 $G = 50 \text{ 000 кг}$. 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 . 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 $\Delta P_{\text{ф}}$, кПа (R, 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 $28 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, емкость заполнена на 95 %, плотность бензина 740 кг/м^3 , его молекулярная масса 94 кг/кмоль , температура кипения бензина $377 \text{ }^\circ\text{C}$, скрытая теплота кипения бензина ($L_{\text{кип}}$ или $L_{\text{исп}}$) – 287 300 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».

Практическая работа 2

Оценка риска травмирования людей при авариях, сопровождающихся пожарами

Цель работы: познакомиться с моделями оценки риска травмирования людей при пожарах и оценить риск по заданным условиям с помощью вероятностной модели и используя нормативные документы.

Теоретические положения

Основным поражающим фактором при пожаре является термическое воздействие, обусловленное тепловым излучением пламени. Термическое воздействие определяется величиной плотности потока поглощенного излучения $q^{пол}$ (кВт/м²) и временем теплового излучения τ (с).

Согласно детерминистской модели риск получения ожогов человеком зависит от дозы теплового воздействия, как представлено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристика ожогов кожи человека

Степень ожога	Повреждаемый слой	характеристика	Доза воздействия, кДж/м ²
I	эпидермис	покраснение кожи	< 42
II	дерма	волдыри	42–84
III	подкожный слой	летальный исход при поражении 50 % кожи	> 84

При применении вероятностного подхода к определению поражающего фактора теплового воздействия на человека риск поражения определяют по пробит-функции ($Pr = a + b \ln D$). Для случая летального исхода при термическом поражении используют следующее выражение для пробит-функции:

$$Pr = -9,5 + 2,56 \ln(q^{1,33} \cdot \tau), \quad (2.1)$$

где q – плотность потока теплового излучения, кВт/м²;

τ (с) – время термического воздействия для случая пожара разлития и горения зданий, определяется по формуле

$$\tau = \tau_0 + \frac{x}{u}, \quad (2.2)$$

где τ_0 – характерное время обнаружения пожара, с, допускается принимать 5 с;

x – расстояние от места расположения человека до зоны, где плотность потока теплового излучения не превышает 4 кВт/м² (безопасный уровень) (рис. 2.1);

u – скорость движения человека, м/с, допускается принимать 5 м/с.

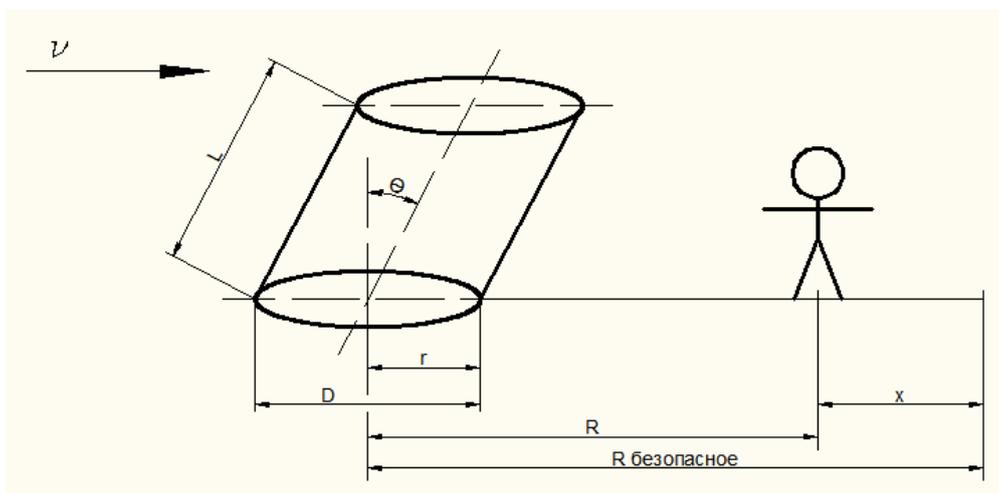


Рис. 2.1. Геометрические параметры, используемые в расчете

Для случая огненного шара время термического воздействия равно времени существования огненного шара.

При пожаре разлива необходимые расчетные параметры для оценки риска получаются следующим образом: плотность падающего теплового потока определяется по формуле

$$q^{пад} = q^{соб} \cdot \varphi \cdot \exp[-7,0 \cdot 10^{-4}(R - r)], \quad (2.3)$$

где φ – угловой коэффициент излучения с площадки на боковой поверхности пламени пожара разлива на единичную площадку, расположенную на уровне грунта, определяется по графику (рис. 2.2);

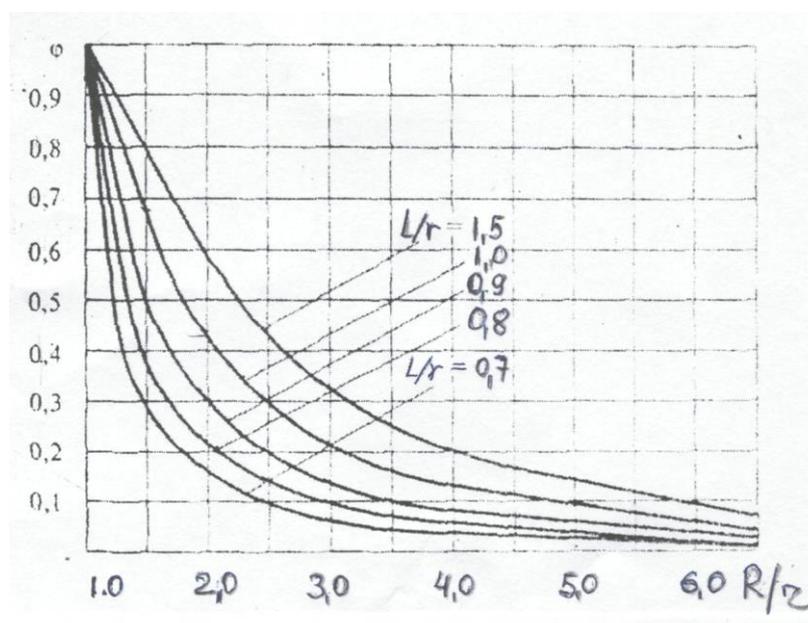


Рис. 2.2. Зависимость углового коэффициента излучения пламени от R/r

$q^{соб}$ – средняя по поверхности плотность потока собственного излучения пламени, кВт/м² (табл. 2.2);

R – расстояние от условного центра пожара разлития до человека, м, (рис. 2.1);

r – радиус цилиндра пожара разлития, м.

Таблица 2.2

Плотность потока собственного излучения пламени некоторых жидкостей

Вещество	q^{cob} , кВт/м ²	вещество	q^{cob} , кВт/м ²
Сжиженный природный газ	150–170	Нефть	60–80
Сжиженный нефтяной газ	50–60	Мазут	50–70
Бензин	120–140	Керосин	80–100

При нарушении герметичности сосуда, содержащего сжиженный горючий газ или жидкость, часть (или вся) жидкость может заполнить поддон или обваловку, растечься по поверхности грунта или заполнить естественную впадину. Если поддон имеет вертикальный внутренний откос, то глубину заполнения h (м) рассчитывают по формуле

$$h = \frac{m_{ж}}{\rho_{ж} F_{\text{под}}}, \quad (2.4)$$

где $m_{ж}$, $\rho_{ж}$ – масса (кг) и плотность (кг/м³) горючей жидкости соответственно;

$F_{\text{под}}$ – площадь поддона, м².

Если нет защитных ограждений, то растекание идет по грунту и площадь ограничена естественными границами (дороги, канавы т. д.), если необходимая информация отсутствует, то толщина разлившегося слоя принимается $h = 0,05$ м и определяют площадь разлития:

$$F_{\text{разл}} = \frac{m_{ж}}{h \rho_{ж}} \quad (2.5)$$

При расчетах форму пожара разлития принимают равной цилиндру, при этом в случае ветра наблюдается «накрытие» с подветренной стороны, которое может составлять 25–50 % диаметра обвалования.

Диаметр цилиндра пожара разлития зависит от площади разлития и определяется по формуле

$$D = 2r = \sqrt{\frac{4F_{\text{разл}}}{\pi}} \quad (2.6)$$

Геометрические параметры факела пожара разлития находятся по формуле Томсона:

$$\frac{L}{D} = a \left(\frac{m_{\text{выл}}}{\rho_{\text{в}} \sqrt{gD}} \right)^b W_b^c, \quad (2.7)$$

где W_b – безразмерная скорость ветра, зависит от реальной скорости ветра:

$$W_b = w \left(\frac{m_{\text{выл}} g D}{\rho_{\text{в}}} \right)^{-1/3}, \quad (2.8)$$

w – скорость ветра, м/с;

ρ_n, ρ_e – плотность пара и воздуха соответственно, кг/м³,

g – ускорение свободного падения, м/с²,

D – диаметр зеркала пролива, м;

$m_{\text{выг}}$ – массовая скорость выгорания, кг/м²·с, определяется экспериментально; для экспертной оценки для ЛВЖ и горючих жидкостей можно использовать приближенную формулу

$$m_{\text{выг}} = C \rho_{\text{ж}} Q_n^p / L_{\text{исп}}, \quad (2.9)$$

где Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;

$L_{\text{исп}}$ – скрытая теплота испарения (кипения) жидкости, Дж/кг;

C – коэффициент, полученный экспериментально, $C = 1,25 \cdot 10^{-6}$.

Эмпирические коэффициенты формулы Томсона ($a = 55$, $b = 0,67$, $c = -0,21$) получены по результатам экспериментов, выполненных для широкого диапазона изменения параметров:

$$10^{-3} \leq L/D \leq 10 \quad \text{и} \quad 10^{-6} \leq m_{\text{выг}} / (\rho_e \sqrt{gD}) \leq 10^{-2}$$

Пример задачи: на нефтеперекачивающей станции расположен резервуар РВС-20000 в обваловке, имеющей квадратную форму со стороной 80 м. Высота обваловки рассчитана на удержание всего объема нефти, находящейся в резервуаре при аварийном разлиии. Фактический объем резервуара 19450 м³ и заполнен нефтью на 80 %. В результате разрушения резервуара и разлиия нефти возник пожар. Скорость ветра 3 м/с. Определить риск поражения человека на различных расстояниях от очага возгорания. Молекулярный вес нефти 240 кг/кмоль; $L_{\text{исп}} = 345,4$ кДж/кг; $t_{\text{кип}} = 57$ °С; $\rho_n = 860$ кг/м³; $\rho_e = 8,8$ кг/м³.

Решение:

1. Нефть заполняет обваловку площадью $F_{\text{обв}} = 80^2 = 6400$ м²;

2. Найдем геометрические размеры пламени пожара разлиия:
диаметр зеркала разлива

$$D = \sqrt{4F_{\text{обв}}/\pi} = \sqrt{4 \cdot 6400/3,14} = 90,29 \text{ м};$$

массовая скорость выгорания

$$m_{\text{выг}} = C \rho_{\text{ж}} Q_n^p / L_{\text{исп}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 860 \cdot 12\,000}{345,4} = 0,04 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

безразмерная скорость ветра

$$W_b = w \left(\frac{m_{\text{выг}} g D}{\rho_n} \right)^{-1/3} = 3 \left(\frac{0,04 \cdot 9,8 \cdot 90,3}{8,8} \right)^{-1/3} = 1,9;$$

геометрические размеры пламени

$$\frac{L}{D} = a \left(\frac{m_{\text{выг}}}{\rho_e \sqrt{gD}} \right)^b W_b^c = 55 \left(\frac{0,04}{1,29 \sqrt{9,8 \cdot 90,3}} \right)^{0,67} \cdot 1,9^{-0,21} = 0,48;$$

$$L = 0,48 \cdot 90,3 = 43,4 \text{ м}$$

3. Найдем угловой коэффициент излучения (φ) для различных расстояний R от центра пламени, для этого по графику возьмем линию $L/r = 43/45 = 1$; результаты представим следующей таблице (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Результаты зависимости коэффициента излучения от расстояния

R/r	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$R, \text{ м}$	45	68	90	110	135	160	180	200	225	250
φ	1,0	0,74	0,48	0,3	0,22	0,18	0,13	0,1	0,08	0,07

4. Найдем плотность потока падающего излучения $q^{над}$, кВт/м², считая, что $q^{соб} = 60$ кВт/м²; результаты представим следующей таблицей (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Результаты зависимости плотности потока падающего излучения от расстояния

$R, \text{ м}$	45	68	90	110	135	160	180	200	225	250
$q^{над}$	60	43	28	17	12	10	7,1	5,4	4,2	3,6

5. Найдем риск смертельного поражения на разных расстояниях от границы пламени, результаты представим следующей таблицей (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Результаты зависимости риска от расстояния

$R, \text{ м}$	45	68	90	110	135	160	180	200	225	250
Pr	14	12,8	11	9,1	7,5	6,3	4,7	3,2	1,5	1,0
$P_{пор}, \%$	100	100	100	100	99,4	90	38	4	0	0

Вывод: безопасное расстояние для человека будет на расстоянии 225 м от очага возгорания.

Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с основными теоретическими положениями работы.
2. Получить задание от преподавателя, при решении задачи обратить внимание на указания к решению, приведенные после условия задачи.
3. Выполнив задание, оформить отчет и сделать вывод о вероятности поражения людей и материальных ресурсов в анализируемой ситуации.

Задания к практической работе

Задача 1. На нефтеперекачивающей станции расположен резервуар РВС-20000 в обваловке, имеющей квадратную форму со стороной 80 м. Высота обваловки рассчитана на удержание всего объема нефти, находящейся в резервуаре при аварийном разливе. Фактический объем резервуара 19 450 м³ и заполнен нефтью на 80 %. В результате разрушения резер-

вуара и разлития нефти образовалось ПГВ облако, которое воспламенилось с образованием «огненного шара». Скорость ветра 3 м/с, температура воздуха 30 °С. Определить вероятность летального поражения человека на различных расстояниях от центра огненного шара (100, 150, 200 м). Молекулярный вес нефти 240 кг/кмоль; $L_{исп} = 345,4$ кДж/кг; $t_{кип} = 57$ °С; $\rho_n = 860$ кг/м³; $\rho_n = 8,8$ кг/м³.

Указания к решению задачи: для нахождения параметров огненного шара используйте приложение Д ГОСТа Р 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Задача 2. В результате аварии автоцистерны, заполненной $6,8 \cdot 10^4$ кг пропана, образовался огненный шар. Рассчитать вероятность гибели людей на расстоянии 250 и 500 м от центра огненного шара.

Задача 3. Рассчитать вероятность гибели людей, находящихся на расстоянии 40 м от центра пожара разлития бензина, образовавшегося в результате пролива бензина на площадь 300 м². Удельная массовая скорость выгорания бензина 0,06 кг/(м²·с), плотность воздуха 1,2 кг/м³, ускорение свободного падения 9,8 м/с².

Указания к решению задачи: для решения задачи используйте приложение В ГОСТа Р 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Практическая работа 3

Оценка пожарных рисков на основе статистической информации

Цель работы: Познакомиться с методами оценки пожарной опасности на основе статистических данных о последствиях пожара.

Теоретические положения

Анализ статистических данных последствий пожаров в городах России показал, что за 2000–2010 гг. на городскую застройку приходилось 62 % пожаров от общего их количества, 59 % материального ущерба и 58 % гибели и травмирования людей. Городская застройка фактически стала определяющим фактором в динамике пожаров и составляет основную долю ежегодных экономических и социальных последствий пожаров, происходящих в России. В зарубежных странах статистические данные в процентном отношении последствий пожаров в городах аналогичны данным отечественных исследователей (около 60 %).

В России в 2008 году принят федеральный закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», который требует внедрение в отечественную практику методик количественной оценки пожарного риска, позволяющих устанавливать *соответствие реально существующего риска законодательно установленному предельному значению*.

Нормативные значения допустимого пожарного риска в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 г №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» составляют:

- индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях, при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке, а также на территориях производственных объектов не должен превышать одной миллионной в год (10^{-6} год⁻¹);
- для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска 10^{-6} год⁻¹ невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год (10^{-4} год⁻¹);
- величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год (10^{-8} год⁻¹).

Пожарная опасность городской застройки характеризуется в первую очередь фактором функциональности. В связи с этим необходимо отметить, что территория города с учетом их функционального назначения подразделяется на следующие зоны: селитебную, производственную, ландшафтно-рекреационную. Установлено, что в городской застройке се-

литебной (жилой) зоны возникает 72 % пожаров, в производственной – 9,6 %, в ландшафтно-рекреационной – 18,4 % пожаров.

В г. Иркутске согласно многолетним статистическим исследованиям в *среднем ежегодно* происходит более 1000 пожаров с материальным ущербом около 90 млн руб. при этом на пожарах погибает до 60 человек и травмируется около 40 человек.

Исследование пожаров в г. Иркутске показало распределение количества пожаров по местам их возникновения (рис. 3.1).

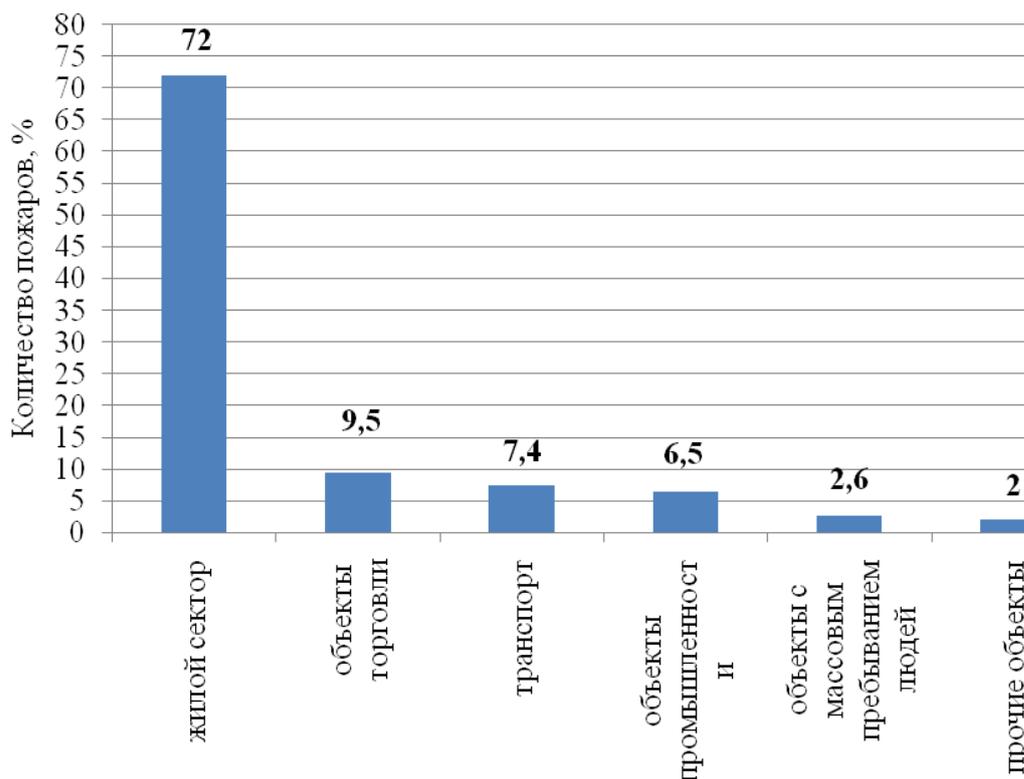


Рис. 3.1. Распределение количества пожаров за 2000–2010 гг. по местам их возникновения в г. Иркутске

Установлено, что основными причинами возникновения пожаров в г. Иркутске за 1995–2010 гг. являлись:

- неосторожное обращение с огнем – 48,2 %;
- нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования – 21,6 %;
- нарушение правил установки и эксплуатации печей, теплогенерирующих устройств – 10,3 %;
- поджоги – 8,4 %;
- нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации транспортных средств – 5,8 %;
- прочие причины – 5,7 %.

Исследования социальных последствий пожаров за 1995–2014 гг. позволили получить усредненные показатели гибели людей в г. Иркутске в зависимости от социального положения (рис. 3.2).

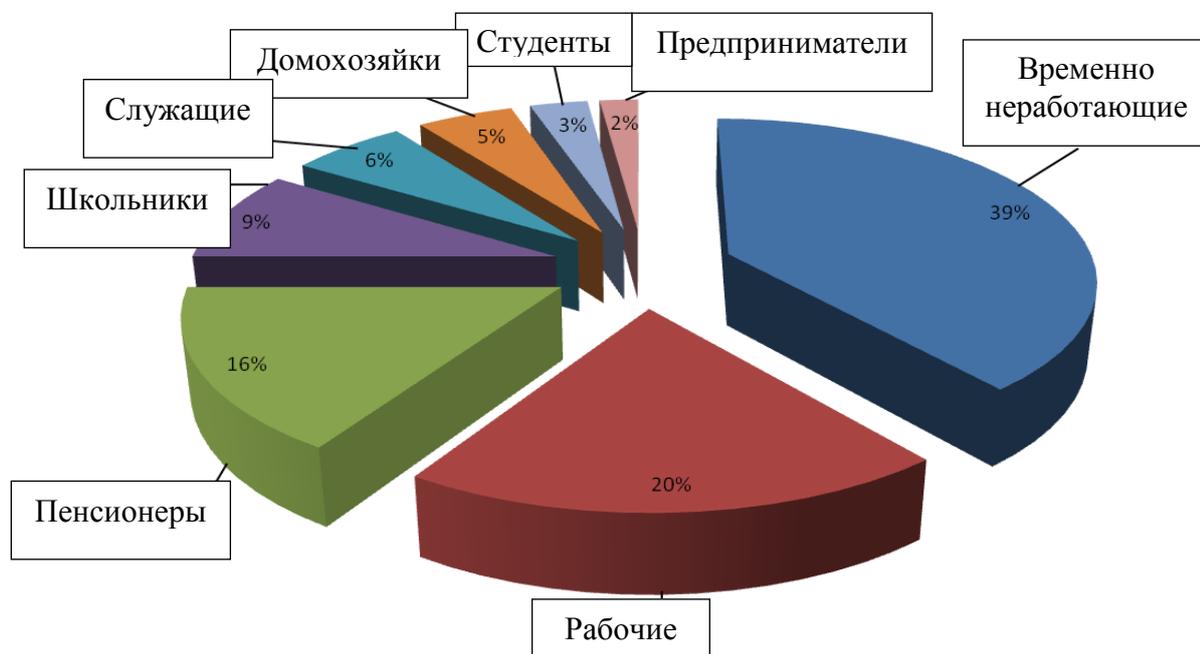


Рис. 3.2. Усредненные показатели гибели людей при пожарах за 1995–2014 гг. в г. Иркутске в зависимости от социального положения

Сибирский федеральный округ (СФО) является одним из самых больших округов России, он занимает 30 % территории страны, здесь проживает 20 207 тыс. человек, плотность населения 3,9 чел./ км², доля городского населения – 71,1 %. На территории округа расположены 12 субъектов РФ, в том числе 4 республики (Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия); 3 края (Алтайский, Забайкальский, Красноярский); 5 областей (Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская).

Исследование социальных последствий пожаров позволили установить возрастные показатели гибели людей при пожарах по СФО за период 1995–2009 гг., эти данные приведены на рис. 3.3. Распределение погибших при пожаре в СФО по социальному статусу приведено на рис. 3.4.

Статистическая обработка данных последствий пожаров за 1995 – 2009гг. позволила ранжировать причины гибели людей на пожарах в административных центрах СФО, а именно: действие продуктов горения – 76,6 %; действие высокой температуры – 16,6 %; недостаток кислорода – 4,7 %; обострение заболеваний – 1,3 %; обрушение строительных конструкций – 0,5 %; проявление скрытых заболеваний – 0,2 %; психические факторы – 0,1 %. Из приведенных данных очевидно, что основной доминирующей причиной гибели людей является действие продуктов горения.

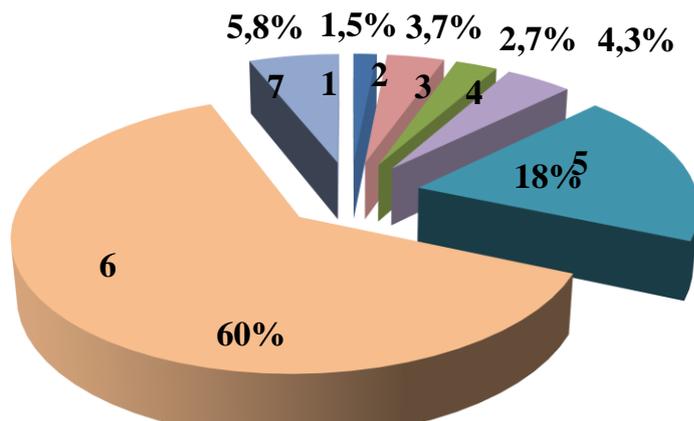


Рис. 3.3. Усреднённые показатели гибели людей по возрасту в административных центрах СФО за 1995–2012 гг.

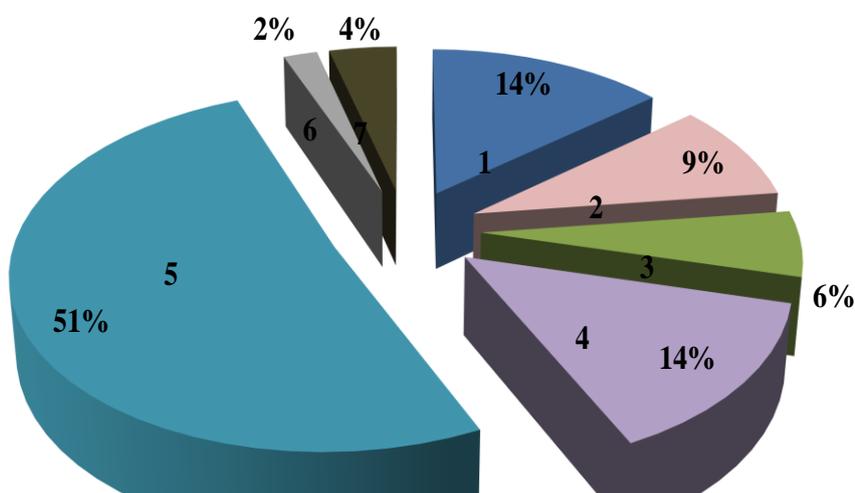


Рис. 3.4. Показатели гибели людей по социальному статусу в административных центрах СФО за 1995–2012 гг.

Гибели людей способствовали следующие условия: состояние алкогольного опьянения – 61,7 %; оставление детей без присмотра – 3,6 %; преклонный возраст, болезнь, инвалидность – 14,7 %; состояние сна – 12,9 %; задымление путей эвакуации – 4,9 %; паника – 2,2 %.

Методика оценки пожарного риска

Существует несколько методов оценки потенциальных последствий пожаров и соответственно видов индивидуального пожарного риска. Рассмотрим некоторые из них.

1. **Индивидуальный риск** для любого человека *столкнуться с пожаром* (его опасными факторами) в течение года

$$R_{ст} = \frac{n_{пож}}{N_{нас}} \quad (3.1)$$

где R_{cm} – риск для любого человека столкнуться с пожаром, пожар · чел.⁻¹ · год⁻¹;

$n_{пож}$ – количество пожаров на объекте исследования;

$N_{нас}$ – население города.

2. *Индивидуальный риск для любого человека погибнуть на пожаре за год*

$$R_{noz} = \frac{N_{noz}}{N_{нас}} \quad (3.2)$$

где R_{noz} – риск для любого человека погибнуть на пожаре, сл./чел. · год⁻¹;

N_{noz} – количество людей погибших при пожаре в течение года на объекте исследования;

$N_{нас}$ – население города.

3. *Индивидуальный риск для любого человека получить травму любой степени тяжести на пожаре за год*

$$R_{mp} = \frac{N_{noz} + N_{трав}}{N_{нас}} \quad (3.3)$$

где R_{mp} – риск для любого человека получить травму любой степени тяжести на пожаре, сл./чел. · год⁻¹;

N_{noz} – количество людей погибших при пожаре в течение года на объекте исследования;

$N_{трав}$ – количество людей получивших травму любой степени тяжести при пожаре в течение года на объекте исследования;

$N_{нас}$ – население города.

4. *Риск возникновения пожара на объекте исследования.*

$$R_{п} = \frac{N_{об}^{пож}}{N_{об} \cdot T} \quad (3.4)$$

где $R_{п}$ – риск возникновения пожара на объекте исследования за год, пожар · объект⁻¹ · год⁻¹;

$N_{об}^{пож}$ – число пожаров в городе за определенный период времени;

$N_{об}$ – количество объектов в городе;

T – период исследования, лет.

Интегральной мерой опасности является **коллективный риск**, определяющий масштаб ожидаемых последствий для людей при пожарах и определяемый по следующей формуле

$$R^K = R_{инд} \cdot N; \quad (3.5)$$

где R^K – коллективный риск гибели или травмирования людей, чел.;

$R_{инд}$ – индивидуальный риск гибели или травмирования людей, сл./чел.·год;

N – общее число людей, подвергающихся потенциальному воздействию опасных факторов пожара, чел.

Ниже в таблицах (табл. 3.1–3.4) приведены статистические данные по последствиям пожаров в г. Иркутске в целом и по отдельным административным округам, а также по административным центрам Сибирского федерального округа (СФО).

Таблица 3.1

**Основные показатели последствий пожаров
в г. Иркутске за 1995–2012гг.**

Год	Количество пожаров, ед.	Прямой ущерб, млн руб.	Погибло при пожаре, чел.	Травмировано при пожаре, чел.
1995	1274	4,24	39	24
1996	1121	6,34	44	31
1997	1194	13,01	53	28
1998	1104	8,27	43	53
1999	1376	6,25	69	59
2000	1221	6,28	77	71
2001	1242	9,49	78	52
2002	1276	14,9	60	60
2003	1283	15,02	86	63
2004	1143	14,71	62	35
2005	1019	174,82	57	35
2006	1062	142,13	52	33
2007	936	370,14	51	33
2008	825	391,02	50	40
2009	821	256,21	47	37
2010	762	180,23	38	48

Таблица 3.2

**Основные показатели последствий пожаров по административным округам
г. Иркутска в среднем за 5 лет (2000–2012 гг.)**

Округ г. Иркутска	Численность населения, тыс. чел.	Количество пожаров в год в среднем за 5 лет	Погибло при пожарах, чел.	Травмировано при пожарах, чел.
Правобережный	121,3	287	103	74
Ленинский	140,2	347	73	49
Октябрьский	132,5	238	64	41
Свердловский	200,5	310	64	54

Таблица 3.3

**Усреднённые показатели основных последствий пожаров
в административных центрах СФО (1995–2012 гг.)**

Административный центр	Количество пожаров, ед. · год ⁻¹	Население, тыс. чел.	Погибло людей, чел. год ⁻¹	Травмировано людей, чел. · год ⁻¹
г. Улан-Удэ	850	373	28	24
г. Горно-Алтайск	120	108,1	5	6
г. Кызыл	401	163,0	6	15
г. Абакан	727	650,7	11	9
г. Барнаул	2475	307,6	90	49
г. Красноярск	3640	941,0	107	117
г. Иркутск	1126	579,2	59	38
г. Кемерово	2872	519,8	103	29
г. Новосибирск	2160	1129,0	109	159
г. Омск	2795	521,6	61	176
г. Томск	887	1425,5	31	47
г. Чита	1059	55,2	29	19

Таблица 3.4

**Основные причины возникновения пожаров
в административных центрах СФО (1995–2009 гг.)**

Причина пожара	Количество пожаров от общего числа, %	Количество погибших при пожарах от общего числа, %	Прямой ущерб от общего числа, %
Неосторожное обращение с огнём	44,6	59,5	34,6
Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования	19,7	23,8	28,7
Нарушение правил устройства и эксплуатации печей и теплоустановок	16,6	7,8	8,8
Установленные поджоги	6,8	6,5	12,9
Шалость детей с огнём	2,6	1,3	2,3
Нарушение правил пожарной безопасности при проведении сварочных и огневых работ	1,3	0,8	1,2
Нарушение правил устройства и эксплуатации производственного оборудования	0,5	0,3	0,6

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями работы.
2. Получить задание у преподавателя.

3. Выполнить требуемые расчеты пожарных рисков и сравнительный анализ, сделать выводы.

Задание 1. Рассчитайте индивидуальный пожарный риск для жителя г. Иркутска (риск столкнуться с пожаром, риск погибнуть при пожаре, риск получить травму любой степени тяжести) в разные годы из имеющейся информации. Обдумайте, какие данные вам для этого нужны, найдите необходимую информацию в табл. 3.1–3.4, количество жителей г. Иркутска в указанные годы примите постоянным и равным 594,5 тыс. человек.

Сравните реально существующий риск с законодательно установленными нормативными значениями, сделайте выводы.

Проследите динамику изменения величин индивидуального пожарного риска в г. Иркутске по годам, построив соответствующие графики.

Рассчитайте коллективный риск гибели и травмирования людей в г. Иркутске. Что показывает величина коллективного риска?

Задание 2. Рассчитайте индивидуальный пожарный риск для жителей разных административных округов г. Иркутска (риск столкнуться с пожаром, риск погибнуть при пожаре, риск получить травму любой степени тяжести). Обдумайте, какая информация вам для этого нужна, воспользуйтесь данными в табл. 3.1–3.4.

Сравните получившиеся значения риска по разным административным округам между собой и сделайте выводы.

Сравните реально существующие значения риска с законодательно установленными нормативными значениями, сделайте выводы.

Рассчитайте коллективный риск гибели и травмирования людей в разных административных округах г. Иркутска. Что показывает величина коллективного риска?

Задание 3. Рассчитайте индивидуальный пожарный риск для жителей разных административных центров СФО (риск столкнуться с пожаром, риск погибнуть при пожаре, риск получить травму любой степени тяжести). Обдумайте, какая информация вам для этого нужна, воспользуйтесь данными в табл. 3.1–3.4.

Сравните получившиеся значения риска по разным административным округам между собой и сделайте выводы.

Сравните реально существующие значения риска с законодательно установленными нормативными значениями, сделайте выводы.

Рассчитайте коллективный риск гибели и травмирования людей в разных административных центрах СФО. Что показывает величина коллективного риска?

Задание 4. Причины возникновения пожаров можно разбить на две группы:

1. техногенные (неисправность и неправильная эксплуатация печей, обогревателей, недостатки конструкций, нарушение правил эксплуатации электрооборудования, бытовых электроприборов и т. д.);

2. социальные (неосторожное обращение с огнем, курение, поджоги, детская шалость с огнем и т. д.).

Разделите причины возникновения пожаров в административных центрах СФО (табл. 3.4) на техногенные и социальные, подсчитайте долю каждой группы от общего числа. Обсудите профилактические меры борьбы с возникновением пожаров.

Используя диаграммы на рис. 3.2, 3.3 и 3.4 обсудите социальные группы, составляющие основную долю погибших при пожарах. Сравните данные по г. Иркутску и другим городам СФО. Обсудите профилактические меры защиты данных категорий граждан.

Задание 5. Причины возникновения пожаров можно разбить на две группы:

1. техногенные (неисправность и неправильная эксплуатация печей, обогревателей, недостатки конструкций, нарушение правил эксплуатации электрооборудования, бытовых электроприборов и т. д.);

2. социальные (неосторожное обращение с огнем, курение, поджоги, детская шалость с огнем и т. д.).

Разделите причины возникновения пожаров в г.Иркутске (приведены в основных теоретических положениях) на техногенные и социальные, подсчитайте долю каждой группы от общего числа. Обсудите профилактические меры борьбы с возникновением пожаров.

Используя диаграммы на рис. 3.2, 3.3 и 3.4 обсудите социальные группы, составляющие основную долю погибших при пожарах. Сравните данные по г. Иркутску и другим городам СФО. Обсудите профилактические меры защиты данных категорий граждан.

Практическая работа 4

Расчет индивидуального пожарного риска для работника при возгорании производственных помещений

Цель работы: познакомиться с методикой расчета индивидуального пожарного риска и оценить соответствие пожарной безопасности производственного помещения нормативным требованиям.

Теоретические положения

Пожарная безопасность считается обеспеченной, если выполнены все обязательные требования пожарной безопасности или величина индивидуального пожарного риска не превышает допустимую величину. В данной работе пожарная безопасность предприятия оценивается расчетом индивидуального пожарного риска.

Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на работника.

Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья работников, то есть, когда очаг возгорания находится вблизи эвакуационных выходов.

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если:

$$Q_B \leq Q_B^H, \quad (4.1)$$

где Q_B^H – нормативное значение индивидуального пожарного риска, $Q_B^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$;

Q_B – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска Q_B рассчитывается по формуле

$$Q_B = Q_{\text{п}} \cdot (1 - R_{\text{ап}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1 - P_{\text{э}}) \cdot (1 - P_{\text{п.з}}), \quad (4.2)$$

где $Q_{\text{п}}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных;

$R_{\text{ап}}$ – вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании; которую принимают равной 0,33 – при работе в одну смену; 0,67 – в две смены; 1,00 – в три смены;

$P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей;

$P_{\text{п.з}}$ – вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

3. Вероятность эвакуации $P_{\text{э}}$ рассчитывают по формуле

$$P_{\text{э}} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_{\text{р}}}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_{\text{р}} < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_{\text{р}} \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин} \end{cases}, \quad (4.3)$$

где $t_{\text{р}}$ – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), $t_{\text{нэ}} = 0,3$ мин;

$t_{\text{бл}}$ – время блокирования путей эвакуации, мин;

$t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

Расчетное время эвакуации людей $t_{\text{р}}$ из помещения определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу по упрощенной аналитической модели движения людского потока.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяют на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной l_i и шириной δ_i .

Расчетное время эвакуации людей $t_{\text{р}}$ следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле

$$t_{\text{р}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (4.4)$$

где t_1 – время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;

t_2, \dots, t_5 , – время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_1 , мин, рассчитывают по формуле

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} \quad (4.5)$$

где l_1 – длина первого участка пути, м;

v_1 – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин, определяемая в зависимости от плотности D .

Плотность людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1} \delta_1 \quad (4.6)$$

Скорость v_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i} \quad (4.7)$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м;

q_i, q_{i-1} – интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин (табл. 4.1).

Если значение q_i определяемое по формуле (7), меньше или равно q_{\max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} \quad (4.8)$$

при этом значения q_{\max} , м/мин, следует принимать равными:

16,5 – для горизонтальных путей;

16,0 – для лестницы вниз.

Таблица 4.1

Интенсивность и скорость движения людского потока при различной на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D , $\text{м}^2/\text{м}^2$	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин		Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин	Скорость v , м/мин	Интенсивность q , м/мин
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	16,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание: интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины δ интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75 \delta$

Время блокирования путей эвакуации $t_{\text{бл}}$ вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени.

Критическая продолжительность пожара $t_{\text{кр}}$, (с), рассчитывается по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания людей:

– по повышенной температуре:

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) \cdot z} \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (4.9)$$

– по потере видимости:

$$t_{кр}^{ng} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot \ln(1,05 \cdot \alpha \cdot E)}{l_{np} \cdot B \cdot D_m \cdot Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4.10)$$

– по понижению содержания кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) \cdot Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4.11)$$

– по каждому из токсичных газообразных продуктов горения:

$$t_{кр}^{ng} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4.12)$$

где В – размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг;

t_0 – начальная температура воздуха в помещении;

n – показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени;

A – размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, $кг \cdot с^{-2}$;

Z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

Q_n – низшая теплота сгорания материала, кДж/кг;

C_p – удельная изобарная теплоемкость газа, кДж/(кг·К);

φ – коэффициент теплопотерь;

η – коэффициент полноты горения;

V – свободный объем помещения, $м^3$;

α – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;

E – начальная освещенность;

L_{np} – предельная дальность видимости в дыму;

D_m – дымообразующая способность горящего материала, $Н_{II} \cdot м^2/кг$;

X – предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении $кг/м^3$:

$X_{CO_2} = 0,11$; $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$; $X_{HCl} = 23 \cdot 10^{-6}$

L_{O_2} – удельный расход кислорода;

L – удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала.

$$B = \frac{353 \cdot C_p \cdot V}{(1 - \varphi) \cdot \eta \cdot Q_n} \quad (4.13)$$

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) \quad (4.14)$$

где h – высота рабочей зоны, рассчитанная по формуле

$$h = h_{\text{пл}} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta = 1,7 \text{ м} \quad (4.15)$$

$h_{\text{пл}}$ – высота площадки, на которой находятся рабочие, над полом, м;
 δ – разность высот пола, равная нулю при горизонтально его расположении,

H – высота помещения.

$$A = 1,05 \cdot \Psi_F \cdot V^2 \quad (4.16)$$

где Ψ_F – удельная скорость выгорания горючих материалов,

V – линейная скорость распространения.

Исходные данные для проведения расчетов могут быть взяты из справочной литературы.

Из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара выбирают минимальное:

$$t_{\text{кр}} = \min \left\{ t_{\text{кр}}^{\text{T}}, t_{\text{кр}}^{\text{П.В}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{T.Г}} \right\}. \quad (4.17)$$

Необходимое время эвакуации людей $t_{\text{нб}}$, мин, из рассматриваемого помещения рассчитывают по формуле

$$t_{\text{нб}} = \frac{0,8 t_{\text{кр}}}{60}. \quad (4.18)$$

Вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты $R_{\text{пз}}$, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей, рассчитывается по формуле

$$R_{\text{пз}} = 1 - (1 - R_{\text{обн}} \cdot R_{\text{СОУЭ}}) \cdot (1 - R_{\text{обн}} \cdot R_{\text{ПДЗ}}), \quad (4.19)$$

где $R_{\text{обн}}$ – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации, $R_{\text{обн}} = 0,8$;

$R_{\text{СОУЭ}}$ – условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации, $R_{\text{СОУЭ}} = 0,8$;

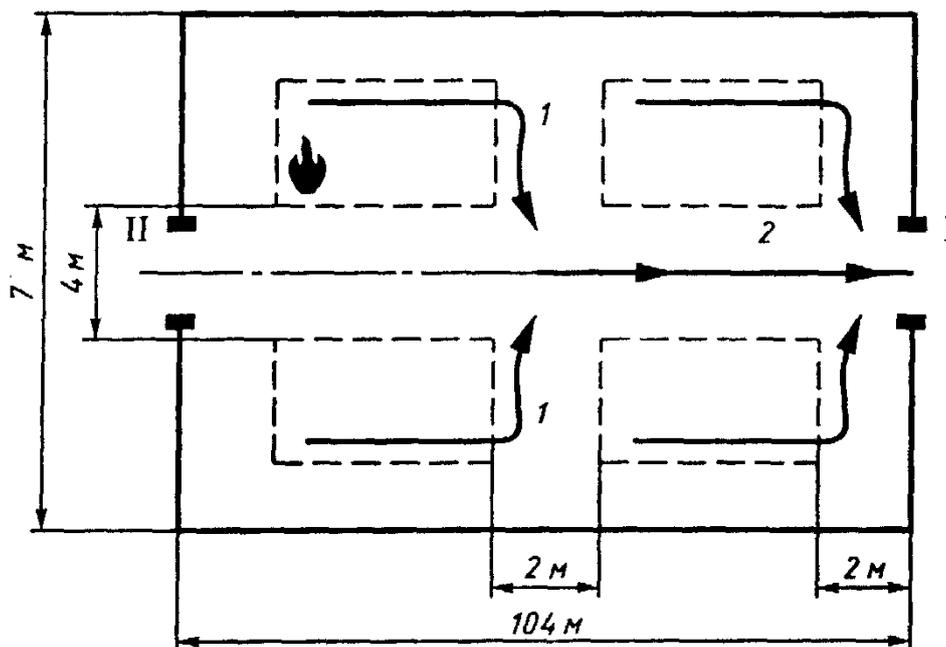
$R_{\text{ПДЗ}}$ – условная вероятность эффективного срабатывания системы противодымной защиты в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации, $R_{\text{ПДЗ}} = 0,8$.

Пример задачи: оценить индивидуальный риск для людей, работающих в механообрабатывающем цехе (зальное помещение). В механообрабатывающем цехе размером 104x72x16,2 м произошел аварийный разлив и загорание масла на площади 420 м². В цехе работают 80 чел. на четырех механических участках в три смены, $R_{\text{пр}} = 1$. Цех имеет два эвакуационных выхода посередине. Ширина центрального прохода между механическими участками равна 4 м, а ширина проходов между оборудованием и стенами равна 2 м, на участках работают по 20 чел. Люди находятся на нулевой отметке. Время установления стационарного режима выгорания масла по

экспериментальным данным составляет 900 с. Характеристики горения масла, взятые из литературных источников, следующие: низшая теплота сгорания $Q = 41,9$ МДж/кг; дымообразующая способность, $D = 243$ Нп·м²/кг; удельный выход углекислого газа $L_{CO_2} = 0,7$ кг/кг; удельное потребление кислорода $L_{O_2} = 0,282$ кг/кг; удельная массовая скорость выгорания $\psi = 0,03$ кг/(м²·с).

Решение:

Расчетная схема эвакуации представлена на рис. 4.1.



☛ — место пожара; I, II — эвакуационные выходы;
1, 2 — участки эвакуационного пути.

Рис. 4.1. Расчетная схема эвакуации

Эвакуацию осуществляют в направлении первого эвакуационного выхода, так как второй заблокирован очагом пожара.

Плотность людского потока на первом участке эвакуационного пути:

$$D_1 = \frac{N_1 f}{l_1 \delta_1} = \frac{20 \cdot 1}{88 \cdot 2} = 0,11 \text{ м}^{-2}$$

Время движения людского потока по первому участку:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{88}{100} = 0,88 \text{ мин.}$$

Интенсивность движения людского потока по второму участку:

$$q_2 = \frac{2q_1 \delta_1}{\delta_2} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 2}{4} = 1 \text{ м/мин.}$$

Время движения людского потока по второму участку, так как $q_2 = 1 < q_{\max} = 16,5$:

$$t_2 = \frac{l_2}{V_2} = \frac{52}{100} = 0,52 \text{ мин.}$$

Расчетное время эвакуации:

$$t_p = t_1 + t_2 = 0,88 + 0,52 = 1,4 \text{ мин.}$$

Геометрические характеристики помещения:

$$h = 1,7 \text{ м; } V = 0,8 \cdot 104 \cdot 72 \cdot 16,2 = 94,044 \text{ м}^3$$

При горении жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0,67\psi F}{\sqrt{\tau_{ст}}} = 0,67 \cdot \frac{0,03}{\sqrt{900}} \cdot 420 = 0,277; \text{ при } n = 1,5.$$

Определяем $t_{кр}$ при $x = 0,3$ и $E = 40$ лк, $B = 2136$ кг:

$$Z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) = \frac{1,7}{16,2} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{1,7}{16,2}\right) = 0,12; l_{пр} = 20 \text{ м;}$$

по повышенной температуре

$$t_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right] \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 + \frac{70 - 20}{(273 + 20)0,12} \right] \right\}^{1/1,5} = 362 \text{ с;}$$

по потере видимости:

$$t_{кр}^{п.в} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05\alpha E)}{l_{пр} BDZ} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \ln(1,05 \cdot 0,3 \cdot 40)}{20 \cdot 2136 \cdot 243 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = 135 \text{ с;}$$

по пониженному содержанию кислорода:

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B_n L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = (7710 \ln(-2,6))^{1/1,5};$$

по выделению углекислого газа

$$t_{кр}^{CO_2} = \left\{ \frac{B}{A} \cdot \ln \left[1 - \frac{VX}{BLZ} \right]^{-1} \right\}^{1/n} = \left\{ \frac{2136}{0,277} \cdot \ln \left[1 - \frac{97044 \cdot 0,1}{2136 \cdot 0,7 \cdot 0,12} \right]^{-1} \right\}^{1/1,5} = (7710 \cdot \ln(-0,016))^{1/1,5};$$

$$t_{кр} = \min(t_{кр}^T, t_{кр}^{п.в}) = \min(362, 135) = 135 \text{ с.}$$

Необходимое время эвакуации людей из помещения:

$$t_{нб} = K_6 t_{кр} = 0,8 \cdot 135 = 108 \text{ с} = 1,8 \text{ мин.}$$

Из сравнения t_p с $t_{нб}$ получается:

$$t_p = 1,4 < t_{нб} = 1,8.$$

Вероятность эвакуации по эвакуационным путям:

$$P_{э,п} = 0,999.$$

Вероятность эвакуации:

$$P_э = 1 - (1 - (1 - P_{э,п}) (1 - P_{д.в})) = 1 - (1 - (1 - 0,999) (1 - 0)) = 0,999.$$

Расчетный индивидуальный риск:

$$Q_B = Q_n P_{пр} (1 - P_э) (1 - P_{п.з}) = 0,2 \cdot 1 (1 - 0,999) (1 - 0) = 2 \cdot 10^{-4};$$
$$Q_B = 2 \cdot 10^{-4} > Q_B^H = 10^{-6}.$$

Вывод: условие безопасности людей не выполнено, значение индивидуального риска больше допустимого.

Порядок выполнения работы

1. Изучить основные теоретические положения
2. Получить задание у преподавателя
3. Провести требуемые расчеты и сделать вывод о соответствии пожарной безопасности помещения нормативным требованиям.

Методические указания к выполнению работы

Для определения расчетного времени эвакуации составьте план эвакуации из производственного помещения, исходя из геометрических размеров помещения и расположения оборудования либо воспользуйтесь планом предприятия; кроме этого вам необходимо знание количества работающих в производственном помещении.

Для оценки времени блокирования эвакуационных путей необходимы физико-химические параметры горючего вещества, для нахождения которых пригодится Интернет.

Вывод по работе должен содержать заключение о величине индивидуального пожарного риска для работников предприятия и его сравнение с величиной допустимого пожарного риска.

Практическая работа 5

Оценка риска и прогнозирование аварии на химически опасном объекте

Цель работы: освоить методику прогнозирования зон заражения при авариях на химически опасном объекте и научиться работать со справочной литературой.

Теоретические положения

Аварийно химически опасные вещества (АХОВ) – это обращающиеся в больших количествах в промышленности и на транспорте токсические химические вещества, способные в случае разрушений (аварий) на объектах легко переходить в атмосферу и вызывать массовые поражения людей, проникать в различные сооружения, заражать местность и водоемы.

Химически опасный объект (ХОО) – объект народного хозяйства или транспортное средство, перевозящее АХОВ, при повреждении или разрушении которых могут произойти химически опасные аварии.

Территория, подвергшаяся непосредственному воздействию химического оружия или АХОВ, и территория, над которой распространяется облако зараженного воздуха в поражающих концентрациях, называются *зоной химического заражения*. Методика, использованная в данной работе, позволяет прогнозировать масштабы зон поражения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случае разрушения химически опасных объектов. Она распространяется на случаи выброса АХОВ в атмосферу в газо-, парообразном и аэрозольном состоянии. При этом масштабы заражения АХОВ в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния рассчитывают по первичному и вторичному облаку, например для сжиженных газов – отдельно по первичному и вторичному облаку; для сжатых газов – только по первичному облаку; для ядовитых жидкостей, кипящих при температуре окружающей среды, – только по вторичному облаку.

В качестве исходных данных для прогнозирования масштабов заражения АХОВ приняты следующие:

- общее количество АХОВ на объекте. Данные по размещению их запасов в емкостях и технологических трубопроводах;
- количество АХОВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива на подстилающей поверхности («свободно», «в поддон», или «обваловку»);
- высота поддонов или обваловки складских емкостей;
- метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м, степень вертикальной устойчивости воздуха.

Для прогнозирования масштабов заражения непосредственно после аварии необходимо учитывать конкретные данные о количестве выброшенных (разлившихся) АХОВ и реальные метеоусловия. Внешние границы зоны заражения АХОВ рассчитывают по пороговой токсодозе при ингаляционном воздействии на организм человека.

В работе приняты определенные допущения при выполнении расчетов.

Емкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушаются полностью; толщину слоя жидкости h (м) для АХОВ, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимают равной 0,05 по всей площади разлива, а для АХОВ, разлившихся в поддон или обваловку, определяют из соотношений:

при разливах из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обвалование),

$$h = H - 0,2, \quad (5.1)$$

где H – высота поддона (обвалования), м;

при разливах из емкостей, расположенных группой и имеющих общий поддон (обвалование),

$$h = \frac{Q_o}{F_d}, \quad (5.2)$$

где Q_o – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

F – реальная площадь разлива в поддон (обвалование), м²;

d – плотность АХОВ, т/м³

Предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости воздуха, направления и скорости ветра) составляют 4 ч. По истечении указанного времени прогноз обстановки необходимо уточнять.

При авариях на газо- и продуктопроводах величину выброса АХОВ принимают равной их максимальному количеству, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими, например для аммиакопроводов – 275–500 т.

В практической работе использованы следующие термины и определения.

Аварийно химически опасное вещество (АХОВ) – химическое вещество, применяемое в народно-хозяйственных целях, которое при выливе или выбросе может приводить к заражению воздуха с поражающими концентрациями.

Авария – чрезвычайное событие техногенного характера, произошедшее по конструктивно-производственным, технологическим или эксплуатационным причинам либо из-за случайных внешних воздействий и заключающееся в повреждении, выходе из строя, разрушении технических устройств или сооружений.

Вторичное облако – облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

Зона заражения АХОВ – территория, зараженная АХОВ в опасных для жизни людей пределах.

Первичное облако – облако АХОВ, образующееся в результате мгновенного (1–3 мин) перехода в атмосферу части содержимого емкости, содержащей АХОВ, при ее разрушении.

Площадь зоны возможного заражения АХОВ – площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра может перемещаться облако АХОВ.

Площадь зоны фактического заражения АХОВ – площадь территории, зараженной АХОВ в опасных для человека пределах.

Пороговая токсодоза – ингаляционная (полученная при вдыхании) токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения.

Прогнозирование масштаба заражения АХОВ – определение глубины и площади зоны заражения АХОВ.

Разрушение химически опасного объекта – состояние объекта в результате катастроф и стихийных бедствий, приводящих к полной разгерметизации всех емкостей и нарушению технологических коммуникаций.

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушения условий жизнедеятельности людей.

Эквивалентное количество сильнодействующего ядовитого вещества – такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости воздуха количеством ядовитого вещества, перешедшим в первичное (вторичное) облако.

Методика расчета

1. Расчет глубины зоны поражения при аварии на химически опасном объекте

Допустим, на химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с АХОВ, находящемся под давлением. В результате аварии возник источник заражения сильнодействующим веществом. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось $Q_{т.с}$ АХОВ.

Необходимо определить продолжительность поражающего действия источника заражения:

- глубину зон возможного заражения АХОВ;
- площадь зоны заражения; нанести зону заражения на схему промышленной зоны (см. рис. 5.1)

- оценить опасность возможного очага химического поражения, если химическое предприятие расположено в жилой части города.

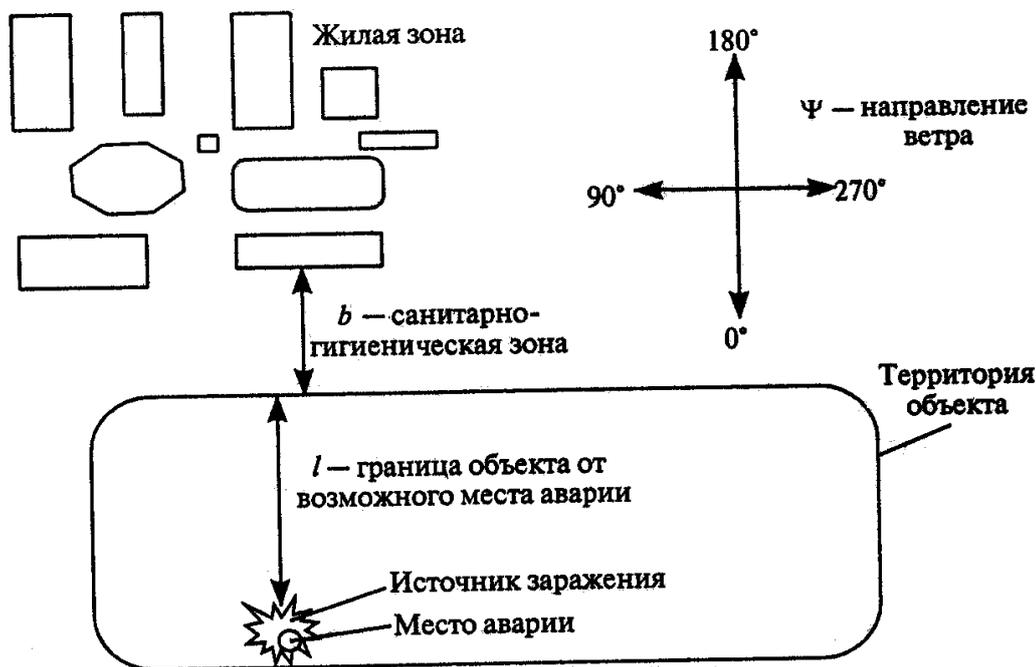


Рис. 5.1. Схема промышленной зоны

Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра и, направление ветра u , температура воздуха T ($^{\circ}\text{C}$), время суток и наличие облачности – согласно варианту задания. Разлив АХОВ на подстилающей поверхности свободный. Давление в емкости с газом атмосферное.

Поскольку объем разлившегося АХОВ неизвестен, то для расчета допускается принять его равным максимальному количеству в системе, т. е. $Q_{\text{max.c}}$

Определяем продолжительность поражающего действия АХОВ,

$$T = \frac{hd}{k_2 k_4 k_7}, \quad (5.3)$$

где h – толщина слоя АХОВ, м; определяется согласно принятым допущениям, изложенным в «Основных положениях»

d – удельная плотность АХОВ, т/м^3 (см. табл. 5.1);

k_2 – коэффициент, зависящий от физико-химического состава АХОВ (см. табл. 5.1);

k_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра:

Скорость	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
ветра, м/с											

k_4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,63
-------	---	------	------	-----	------	------	-----	------	------	-----	------

k_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (см. табл. 5.1). Для сжатых газов он равен 1.

Таблица 5.1

Характеристика АХОВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубин зон заражения

АХОВ	Удельная плотность АХОВ, т/м ³		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
	газообразного	жидкого			k ₁	k ₂	k ₃	k ₇ при температуре, °С				
								-40	-20	0	20	40
Аммиак, хранящийся под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,5/1	1/1	1,4/1
Аммиак изотермического хранения		0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Водород фтористый		0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Метиламин	0,0014	0,966	-6,5	1,2	0,13	0,384	0,5	0/0,3	0/0,7	0,5/1	1/1	2,5/1
Метил бромистый		1,732	3,6	1,2	0,04	0,039	0,5	0/0,2	0/0,4	0/0,9	1/1	2,3/1
Метилмеркаптан		0,867	5,95	1,7	0,06	0,043	0,353	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,4/1
Нитрил акриловой кислоты		0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,8	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Азота оксиды		1,491	21,0	1,5	0	0,04	0,4	0	0	0,4	1	1
Этилена оксид		0,882	10,7	2,2	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,2/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1	1,7/1
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,42	0,336	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Соляная кислота (концентрированная)		1,198		2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
Формальдегид		0,815	-19,0	0,6	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,3	1/1	2,2/1
Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2	0,95	0,038	3,0	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1	1,1/1
Фтор треххлористый		1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Хлор	0,0032	1,538	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,2	0,3/1	0,5/1	1/1	1,4/1
Хлорпикрин		1,658	112,3	0,02	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,046	0,8	0/0	0/0	0/0,6	1/1	3,9/1
Диметиламин	0,0020	0,68	6,9	1,2	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1

Таблица 5.2

Глубина зоны заражения, км, в зависимости от эквивалентного количества АХОВ

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ Q _э , т															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300	500	1000
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	363
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	189
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	130
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	101
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,83	40,11	54,67	83,60
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	71,70
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	56,70
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	51,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	47,53
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	44,15
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	41,30
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	38,90
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,0	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	36,81
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	34,98

Примечания: 1. При скорости > 15 м/с глубину зоны заражения принимать, как при скорости ветра 15 м/с.
2. При скорости ветра < 1 м/с глубину зоны заражения принимать, как при скорости ветра 1 м/с.

Глубины зон заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте определяем с помощью табл. 5.2.

В табл. 5.2 приведены максимальные значения глубин зон заражения первичным r_1 или вторичным r_2 облаком АХОВ, которые зависят от эквивалентного количества вещества (даны для каждого варианта) и скорости ветра. Полная глубина зоны заражения, обусловленная воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, км,

$$r = r' + r'' \cdot 0,5, \quad (5.4)$$

где r' и r'' – соответственно наибольшее и наименьшее из значений r_1 и r_2 .

Полученное значение r сравнивают с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс.

$$r_n = Nv, \quad (5.5)$$

где N – период времени от начала аварии, ч;

v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха, км/ч.

По табл. 5.3 определяют степень вертикальной устойчивости воздуха, используя данные согласно варианту.

По табл. 5.4 определяют скорость переноса воздушных масс в зависимости от степени вертикальной устойчивости воздуха и скорости ветра.

Таблица 5.3

Степень вертикальной устойчивости воздуха в зависимости от метеорологических условий

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность						
≤2	ИН	ИЗ	ИЗ	ИЗ	К	ИЗ	ИН	ИЗ
2–3,9	ИН	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ
≥4	ИН	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ

Примечание. ИН – инверсия; ИЗ – изотермия; К – конвекция

Таблица 5.4

Зависимость скорости переноса переднего фронта облака зараженного воздуха от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Скорость переноса, км/ч	Инверсия													
	5	10	18	21										
	Изотермия													
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	78	82
	Конверсия													
	7	14	21	28										

За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимают меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

Согласно варианту выбирают эквивалентное количество вещества в первичном $Q_{э1}$ и вторичном $Q_{э2}$ облаке.

Если значения $Q_{э}$ нет в табл. 5.2, то r_1 и r_2 находят последовательно методом интерполяции:

$$r = r_{m.m} + \left(\frac{r_{m.б} - r_{m.m}}{Q_{эб.m} - Q_{эм.m}} \right) (Q_{э} - Q_{эм.m}), \quad (5.6)$$

где $r_{m.m}$ – ближайшее меньшее табличное значение глубины зоны поражения;

$r_{m.б}$ – ближайшее большее табличное значение глубины зоны поражения;

$Q_{эб.m}$ – ближайшее большее табличное значение эквивалентного количества вещества в соответствующем облаке;

$Q_{эм.m}$ – ближайшее меньшее табличное значение эквивалентного количества вещества в соответствующем облаке;

$Q_{э}$ ($Q_{э1}$ или $Q_{э2}$) – заданные (согласно варианту) значения эквивалентного количества вещества в соответствующем облаке.

По табл. 5.2 находят для $Q_{э1}$ и $Q_{э2}$ глубину зоны заражения первичным r_1 и вторичным r_2 облаком.

Рассчитывают полную глубину зоны заражения r по формуле (5.4).

Рассчитывают предельно возможные значения глубины переноса воздушных масс r_n по формуле (5.5).

Сравнивают r_n и r . За окончательное расчетное значение глубины зоны заражения r_p принимают меньшее из двух значений.

Продолжительность действия источника заражения соответствует времени испарения АХОВ (см. «Основные положения»).

Глубина зоны заражения, м, в жилых кварталах

$$c = r_p - l - b, \quad (5.7)$$

где r_p – расчетная глубина заражения м;

l – расстояние границы объекта от возможного места аварии, км;

b – ширина санитарно-защитной зоны, км.

Таким образом, облако зараженного воздуха через N часов после аварии может представлять опасность для рабочих и служащих химически опасного объекта, а также населения города, проживающего на расстоянии c от санитарно-защитной зоны объекта.

Определение площади зоны заражения

Площадь зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ, км²,

$$S_B = 8,75 \cdot 10^{-3} r_p \varphi \quad (5.8)$$

где r_p – расчетная глубина зоны заражения, км;

φ – угловые размеры зоны возможного заражения, град, зависящие от скорости ветра u , м/с.

u , м/с	<0,5	0,6-1	1,0-2	>2
φ , град	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения, км²,

$$S_{\phi} = k_8 r_p^2 N^{0,2} \quad (5.9)$$

где k_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха; принимается равным 0,081 при инверсии, 0,133 при изотермии, 0,235 при конвекции;

N – время, прошедшее после начала аварии, ч.

N	1	5	75
$N^{0,2}$	1	1,380	2,352

Зона возможного заражения облаком АХОВ на картах (схемах) ограничена окружностью, полуокружностью или сектором с угловыми размерами φ и радиусом, равным глубине зоны заражения r_p . Угловые размеры в зависимости от скорости ветра по прогнозу приведены выше. Центр окружности, полуокружности или сектора совпадает с источником заражения.

Зону фактического заражения, имеющую форму эллипса, включают в зону возможного заражения. Ввиду возможных перемещений облака АХОВ под воздействием изменений направления ветра фиксированное изображение зоны фактического заражения на карты (схемы) не наносят.

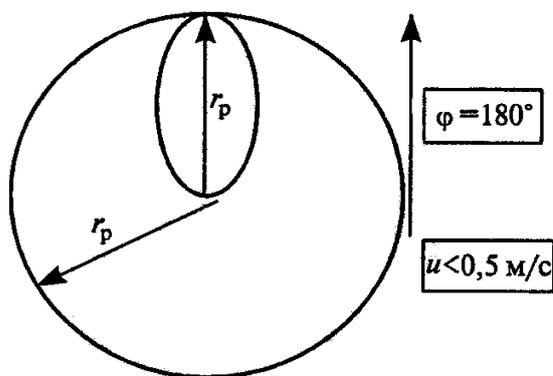


Рис. 5.2. Зона заражения при скорости ветра <0,5 м/с

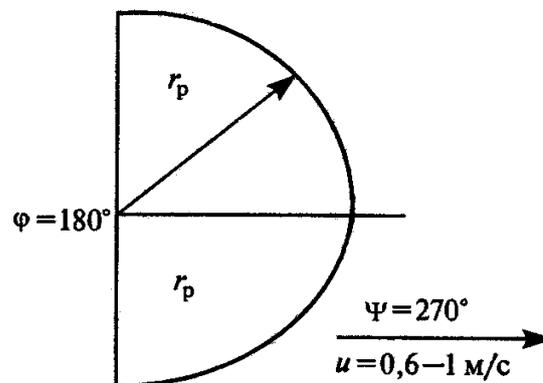


Рис. 5.3. Зона заражения при скорости ветра от 0,6 до 1 м/с

На топографических картах и схемах зона возможного заражения имеет форму окружности – при скорости ветра по прогнозу $< 0,5$ (рис. 5.2). Радиус окружности равен r_p . Форма эллипса соответствует зоне фактического заражения на фиксированный момент времени, полуокружности – при скорости ветра по прогнозу $0,6–1$ м/с (рис. 5.3).

Радиус полуокружности равен r_p . Биссектриса полуокружности совпадает с осью облака и ориентирована по направлению ветра. Сектор – при скорости ветра по прогнозу > 1 м/с (рис. 5.4).

$\varphi = 90^\circ$ при скорости ветра по прогнозу $1,1–2$ м/с; $\varphi = 45^\circ$ при скорости ветра по прогнозу > 2 м/с.

Радиус сектора равен r_p .

Биссектриса сектора совпадает с осью следа облака и ориентирована по направлению ветра.

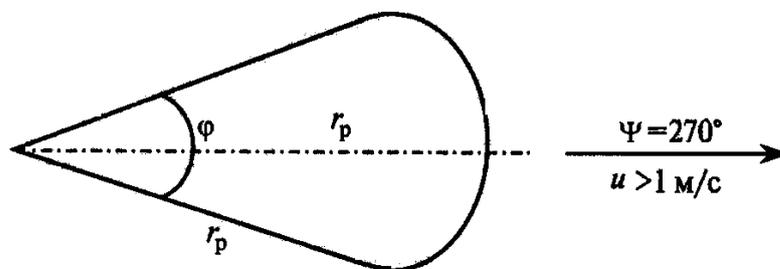


Рис. 5.4. Зона заражения при скорости ветра > 1 м/с

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить основные положения и методику выполнения расчета.
2. Выбрать свой вариант по таблице вариантов (табл. 5.5). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.
3. Выписать из таблицы исходные данные.
4. Выполнить расчеты по образцу, подставив в формулы исходные данные своего варианта.
5. Нанести на схему промышленной зоны (рис. 5.1) зону заражения.

Таблица 5.5

Варианты заданий к практической работе по теме «Определение границ и структуры очагов поражения»

№ варианта	Эквивалентное количество вещества в первичном облаке $Q_{\text{Э}_1}(T)$	Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке $Q_{\text{Э}_2}(T)$	Скорость ветра, м/с	Время от начала аварии, ч	АХОВ	Направление ветра ψ , град	Температура воздуха T , °С	Расстояние границы объекта от возможного места аварии l , м	Ширина санитарной зоны, м	Время суток	Облачность
1	0,5	10	0	20 мин	Аммиак	0	0	300	500	Ночь	Ясно
2	1	15	1	2	Водород фтористый	90	+10	200	1000	Вечер	Облачно
3	3	25	3	3	Метиламин	180	+20	100	800	Утро	Ясно
4	2	17	5	50 мин	Метил бромистый	190	-20	50	300	День	Облачно
5	4	30	10	4.50	Фтор	170	-5	350	400	-	-
6	0,2	8	8	4.30	Формальдегид	270	0	250	600	Вечер	Ясно
7	0,1	7	6	5	Фосген	150	+10	100	2000	Ночь	Облачно
8	3,5	28	4	4	Азота оксиды	200	+15	150	900	Утро	Ясно
9	2,4	19	15	1	Этилена оксид	180	0	300	1500	-	-
10	1,2	5	2	2	Фтор	0	0	300	300	День	-
11	2,3	8	3	4.50	Формальдегид	10	+10	50	400	Ночь	Облачно
12	0,1	6	5	5.20	Сероводород	150	-10	25	600	Утро	-
13	0,6	4	8	40 мин	Метилмеркаптан	80	+15	+25	700	Вечер	-
14	0,9	5,5	10	30 мин	Нитрил акриловой кислоты	90	-40	-118	850	Утро	Ясно
15	2,5	12	5	10 мин	Этилена оксид	180	+15	80	1000	Ночь	Облачно
16	3,5	17	6	4	Сернистый ангидрид	160	0	100	1200	Вечер	Ясно
17	7,0	30	7	3	Хлор	170	+10	400	3000	День	Облачно
18	9,0	27	14	6 мин	Хлорпикрин	150	-10	300	5000	Вечер	Ясно
19	11,0	40	2	1	Хлорциан	270	+14	500	1500	Ночь	Облачно
20	10,0	35	1,5	2	Метилмеркаптан	90	-26	300	2000	Утро	Ясно
21	8,0	25	1,0	5	Аммиак	30	-20	350	2500	День	Облачно
22	6,0	17	7	6	Диметиламин	185	+20	200	450	Вечер	-
23	7,0	15,3	4	2	Метиламин	90	0	450	800	Утро	-
24	5,0	12,5	3	1	Метилбромистый	270	0	600	450	Ночь	Ясно
25	4,0	16,6	8	4	Фтор	180	0	650	550	-	-
26	3,2	15,4	9	5	Фосген	170	-12	500	700	Утро	Облачно
27	1,6	10,5	10	4	Хлор	160	+8	300	3000	Вечер	-
28	2,9	8,8	11	4	Хлорпикрин	150	0	200	2500	День	-

Практическая работа 6

Прогнозирование волны прорыва при авариях на гидротехнических сооружениях

***Цель работы:** освоить методику прогнозирования волны прорыва при аварии на гидротехническом сооружении.*

Теоретические положения

Аварии с разрушением (прорывом) гидротехнических сооружений (плотины, водозаборные и водосборные сооружения, запруды, и т. д.) могут происходить в результате действия сил природы, воздействия человека или конструктивных и проектных ошибок.

Основным определяющим последствием прорыва гидротехнических сооружений является катастрофическое затопление местности, сопровождающееся стремительным затоплением волной прорыва (образуется потоком воды, устремляющимся в проран гидротехнического сооружения) нижерасположенной местности и возникновением наводнения.

В зоне возможного затопления могут иметь место потери людей, разрушения различного рода объектов и уничтожение других материальных ценностей. Прогнозирование последствий таких аварий заключается в определении параметров волны прорыва и ее воздействия на объекты.

Алгоритм определения параметров волны прорыва

Основными параметрами волны прорыва, определяющими последствия гидродинамических аварий, являются:

- максимальная высота и скорость волны прорыва;
- время прихода гребня и фронта волны прорыва в соответствующий створ;
- продолжительность и глубина возможного затопления объекта.

Исходные данные для оценки параметров волны прорыва при разрушении гидротехнических сооружений в виде плотины, дамбы, перемычки, шлюза и других подобных сооружений (в дальнейшем плотины) включают в себя:

- объем водохранилищ;
- удаление рассматриваемого створа объекта от аварийной плотины (искусственное сооружение или естественное образование, ограничивающие сток воды, создающие водохранилища и разницу уровней воды по руслу реки);
- длина плотины и размеры прорана (повреждение в теле плотины);
- средняя глубина реки и абсолютная высота береговой линии реки в нижнем бьефе плотины (часть реки ниже плотины); высота уровня воды

в верхнем бьефе плотины; абсолютная высота береговой линии и глубина реки в створе объекта;

- высота расположения промплощадки объекта по отношению к нормальному уровню реки в рассматриваемом створе;
- ширина реки в створе объекта.

Основные исходные размеры приведены на рис. 6.1.

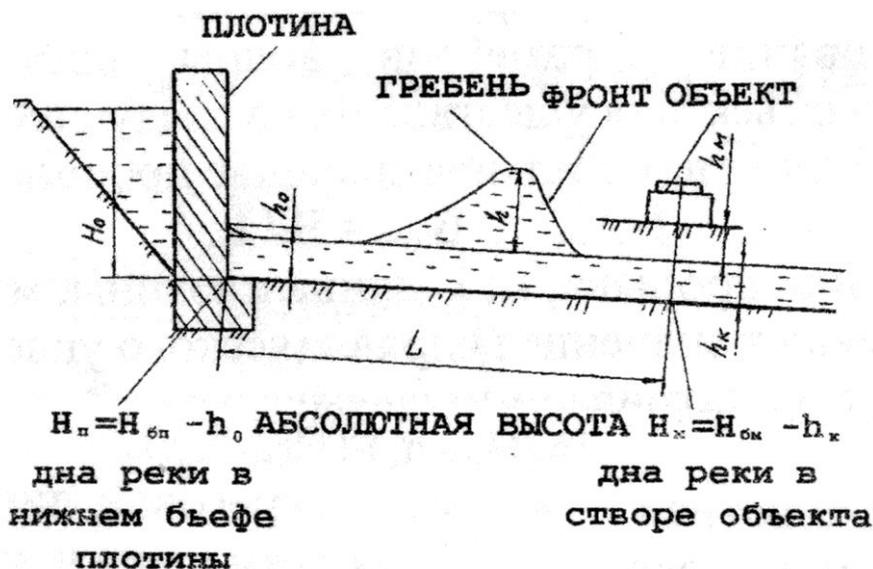


Рис. 6.1. Продольный разрез гидротехнического сооружения на реке

Исходные данные могут быть определены по топографической карте местности и технической документации сооружения или объекта. Например, абсолютные высоты береговых линий реки находят по горизонталям высот или посредством построения профиля местности в требуемых сечениях по топографической карте местности. По карте определяются также значения глубин реки и высоты промплощадки объекта. Техническая документация используется для определения уровня воды в верхнем бьефе плотины и ее длины. Для подготовки исходных данных могут использоваться также результаты инструментальных измерений.

При заблаговременном прогнозировании рекомендуется выполнять расчеты для случаев, когда разрушению подвергается 25, 50, 100 % тела плотины.

Приближенные расчеты прорана плотин (V_p , м) выполняются с использованием следующих зависимостей:

- плотины бетонные на мягком основании

$$V_p = 0,45 \cdot L_p \cdot d + 0,03 C \quad (6.1)$$

- плотины бетонные на скальном основании

$$V_p = 0,5 \cdot L_p \cdot d \quad (6.2)$$

- плотины из песчаных материалов

$$V_p = 100 L_p d + 0,16 C \quad (6.3)$$

- плотины из суглинистых материалов

$$B_p = 0,4 L_{пл} d + 0,08 C \quad (6.4)$$

- плотины из каменно-набросных материалов

$$B_p = 0,4 L_{пл} d + 0,1 C \quad (6.5)$$

- плотины из смешанных материалов

$$B_p = (100 + 0,5 L_6) d + 0,16 C \quad (6.6)$$

где $d = \exp(-3 \cdot 10^9 V_0 / H_0)$; $C = V_0^{0,5} (H_0 - h_0)^{-0,65}$; V_0 – объем воды в водохранилище, м³; H_0 – глубина водохранилища, м; $L_{пл}$ – длина плотины, м; L_6 – длина бетонной части плотины, м.

Состав и содержание методики прогнозирования последствий гидродинамических аварий распространяются на случай внезапного разрушения гидротехнических сооружений (плотины, дамбы, перемычки, шлюзы и другие искусственные плотины) и природных образований (косы, отмели и другие естественные плотины).

Прогнозирование параметров волны прорыва относительно анализируемого объекта осуществляется в следующем порядке.

1. Определяют относительное значение прорыва ($B_{отн}$):

$$B_{отн} = B/L,$$

где B – величина прорыва, м; L – длина плотины, м.

2. Рассчитывают значение гидравлического уклона водной поверхности на рассматриваемом участке реки (i):

$$i = (H_{бп} - h_0) - (H_{бм} - h_k) / L,$$

где $H_{бп}$ – абсолютная высота береговой линии реки в нижнем бьефе плотины, м; h_0 – средняя глубина реки в нижнем бьефе плотины, м; $H_{бм}$ – абсолютная высота береговой линии в створе объекта, м; H_k – средняя глубина реки в створе объекта, м; L – удаленные рассматриваемого створа объекта от места аварии (аварийной плотины), м.

3. Определяют величину вспомогательной зависимости:

$$i \cdot L / H_0,$$

где H_0 – высота уровня воды в верхнем бьефе плотины (принимается из технической документации гидротехнического сооружения), м.

4. Рассчитывают значения высоты расположения площадки объекта по отношению к нормальному уровню воды в реке в рассматриваемом створе объекта (h_m , м). Используется топографическая карта или другая документация.

5. Определяют максимальную высоту волны прорыва (h , м) в створе объекта:

$$h = A_1 / (B_1 + L)^{0,5}$$

где $A_1 B_1$ – размерные коэффициенты (табл. 6.1).

6. Определяется скорость волны прорыва (V , м/с) в створе объекта:

$$V = A_2 / (B_2 + L)^{0,5}$$

где $A_2 B_2$ – размерные коэффициенты (табл. 6.1).

7. Определяют среднюю высоту затопления ($h_{\text{ср}}$, м).

Высота затопления определяется как высота прямоугольника эквивалентного по площади смоченному периметру затопления в створе объекта при максимальной высоте затапливаемого в этом створе участка местности:

$$h_{\text{ср}} = S_{\text{п}} / b_{\text{к}}$$

где S – площадь прямоугольника, м^2 ; b – ширина реки в створе объекта, м.

Для этого с использованием карты или других данных строится профиль поперечного разреза местности и реки в створе объекта (рис. 6.2). Затем строится прямоугольник (рис. 6.3) с площадью ($S_{\text{п}}$), равной площади смоченного периметра ($S_{\text{пер}}$) затопления в створе объекта при максимальном затоплении (рис. 6.2, заштрихованная область)



Рис. 6.2. Поперечный разрез реки и местности в створе объекта

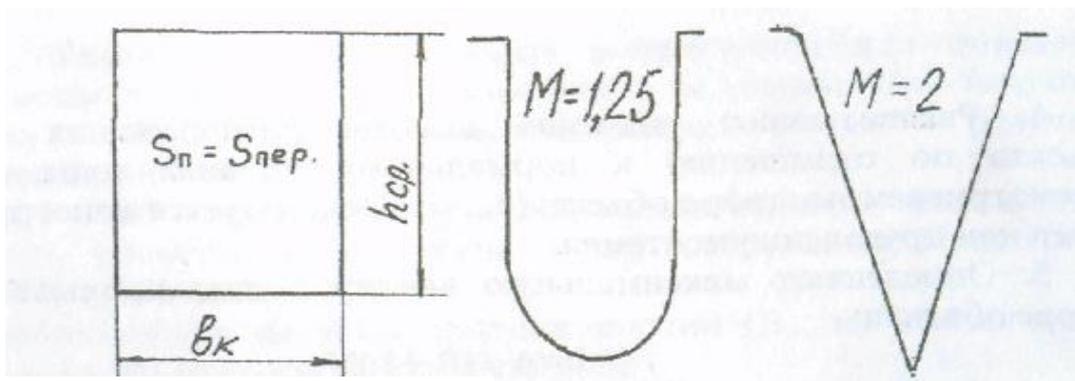


Рис. 6.3. Расчетный прямоугольник Рис. 6.4. Профиль шаблона русла реки

8. Определяют максимальную высоту затопления ($h_{\text{зат}}$, м):

$$h_{\text{зат}} = h - h_{\text{м}}$$

9. Рассчитывают среднюю скорость потока воды по площадке затопления ($V_{\text{ср}}$, м/с):

$$V_{\text{ср}} = V(h_{\text{зат}} / h_{\text{ср}})$$

10. Определяют время прихода к створу объекта гребня ($t_{гр}$, ч) и фронта ($t_{фр}$, ч) волны прорыва (рис. 6.1).

Величины $t_{гр}$, $t_{фр}$ определяются с использованием данных табл. 6.2.

11. Оценивают продолжительность затопления территории объекта 1(ч) после прихода волны прорыва в рассматриваемый створ:

$$t = k (t_{гр} - t_{фр}) \cdot (l - h_m/h),$$

где k – коэффициент расчета времени (табл. 6.3).

Алгоритм оценки воздействия волны прорыва на объекты

Последовательность проведения такого анализа заключается в следующем.

Дается предварительная оценка возможных разрушений (повреждений) основных блоков объекта. Используется табл. 6.4. Результаты оценки оформляются в виде таблицы: содержание левой части которой конкретизируется по блокам объекта, правой – по видам разрушений (легкие, средние и т. п.).

Дается оценка ожидаемой степени разрушений (повреждений) блоков объекта. Используются предварительные данные по п.1 и табл. 6.5.

При использовании табл. 6.4 значение скорости течения воды через территорию объекта (U_3 , м/с) вычисляется по зависимости

$$U_3 = f \cdot V,$$

где V – скорость волны прорыва в створе объекта, м/с; f – коэффициент учета смещения площадки объекта от русла (табл. 6.6).

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить основные положения и методику выполнения расчета.

2. Выбрать вариант задания по табл. 6.7.

3. Выписать из таблицы исходные данные. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

4. Рассчитать параметры волны прорыва, используя исходные данные своего варианта.

5. Сделать заключение о воздействии волны прорыва на объекты экономики.

6. Оформить отчет о выполнении работы в соответствии с требованиями к оформлению практических работ и защитить ее у преподавателя.

Таблица 6.1

Коэффициенты расчета параметров волны прорыва

Относит. поран Вогн (без-размер.)	Высота уровня воды в водохранилище Но.м	Значения расчетных коэффициентов при гидравлическом уклоне водной поверхности											
		$i = 1 \cdot 10^{-4}$				$i = 5 \cdot 10^{-4}$				$i = 10 \cdot 10^{-4}$			
		A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂
1,0	20	100	90	9	7	70	50	13	10	40	18	16	21
	40	280	150	20	9	180	76	24	12	110	30	32	24
	80	720	286	39	12	480	140	52	16	300	60	62	29
	150	1880	500	78	15	1240	234	100	26	780	106	116	34
	250	4000	830	144	199	2600	370	174	25	1650	168	208	40
0,5	20	128	204	11	11	92	104	13	23	56	51	18	38
	40	340	332	19	14	224	167	23	25	124	89	32	44
	80	844	588	34	17	544	293	43	31	320	166	61	52
	150	2140	1036	62	23	1280	514	79	38	940	299	113	62
	250	4520	1978	100	27	2600	830	130	46	1840	470	187	79
0,25	20	140	192	8	21	60	200	4	33	40	38	15	43
	40	220	388	13	21	192	276	19	36	108	74	30	50
	80	880	780	23	21	560	320	41	41	316	146	61	65
	150	2420	1450	41	20	1360	572	77	51	840	172	114	89
	250	4740	2420	67	16	2800	932	126	62	1688	452	196	116

Таблица 6.2

Время прихода в часах гребня (t_{гр}) и фронта (t_{фр}) волны прорыва в рассматриваемый створ

L, км	H ₀ = 20, м				H ₀ = 40, м				H ₀ = 80			
	$i = 10^{-3}$		$i = 10^{-4}$		$i = 10^{-3}$		$i = 10^{-4}$		$i = 10^{-3}$		$i = 10^{-4}$	
	t _{фр}	t _{гр}	t _{фр}	t _{гр}	t _{фр}	t _{гр}	t _{фр}	t _{гр}	t _{фр}	t _{гр}	t _{фр}	t _{гр}
5	0,2	1,8	0,2	1,2	0,1	2,0	0,1	1,2	0,1	0,1	0,1	1,1
10	0,6	4,0	0,6	2,4	0,3	3,0	0,3	2,0	0,1	0,4	0,2	1,7
20	1,6	7,0	2,0	5,0	1,0	6,0	1,0	4,0	0,4	1,0	0,5	3,0
40	5,0	14	4,0	10	3,0	10	2,0	7,0	1,0	2,0	1,2	5,0
80	13	30	11	21	8,0	21	6,0	14	3,0	4,0	3,0	9,0
150	33	62	27	43	16	40	15	23	6,0	9,0	7,0	17
200	160	230	113	161	95	140	70	98	25	32	035	59

Таблица 6.3

Коэффициент расчета времени затопления территории волной прорыва

$\frac{i \cdot L}{H_0}$	Значение коэффициента при высоте плотины в долях от средней глубины реки в нижнем бьефе	
	H ₀ = 10 · h ₀	H ₀ = 20 · h ₀
0,05	15,5	18,0
0,1	14,0	16,0
0,2	12,5	14,0
0,4	11,0	12,0
0,8	9,5	10,8
1,6	8,3	9,9
3,0	9,9	9,6
5,0	7,6	9,3

Таблица 6.4

Характер разрушений объекта при воздействии волны прорыва

Элементы инженерно-технического комплекса	Параметры волны прорыва, вызывающие виды разрушений на объекте							
	легкие		слабые		средние		сильные	
	$h_{зат}$, м	U_3 , м/с	$h_{зат}$, м	U_3 , м/с	$h_{зат}$, м	U_3 , м/с	$h_{зат}$, м	U_3 , м/с
Промышленные здания с легким металлическим каркасом	1,5	0,5	2,0	1,0	4,0	2,0	5,0	2,5
Промышленные здания бескаркасные	3,5	0,5	2,0	1,0	4,0	2,0	5,0	2,5
Кирпичные административные и вспомогательные здания	1,5	0,5	2,0	1,0	3,0	1,5	4,0	2,0
Деревянные здания в 1–2 этажа	1,0	0,5	1,0	1,0	2,5	1,0	3,5	1,5
Сборные и легкие деревянные здания	1,5	0,5	2,0	1,0	2,5	1,5	3,5	1,5
Емкости, трубопроводы на опорах	1,0	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Сооружения на подвижных опорах	1,5	0,5	2,5	1,0	2,5	1,5	3,5	2,5
Мосты, эстакады	–	–	–	–	0,5	1,0	1–2	1,5–2
Дороги с твердым покрытием	–	–	–	–	–	–	1,0	1,8–2,5
Автомобильный и железнодорожный транспорт	–	–	–	–	1,0	1–1,5	1,5	2,0

Таблица 6.5

Характеристика возможных разрушений и повреждений на промышленном объекте при затоплении волной прорыва

Вид разрушений	Возможное состояние сооружений и оборудования на промобъекте при затоплении	Вид восстановительных работ
Легкие	Размягчение грунта у основания и снижение прочности крепления оборудования на основании. Заносы производственных колодцев, туннелей, приемников и т. д. Частичное повреждение при боров контроля, релейной защиты, автоматики. Залив контактов, аккумуляторных батарей, двигателей и др.	Текущий ремонт (несколько суток)
Слабые	Подмыв фундаментов зданий, сооружений, частичное проседание опор и оснований. Трещины и теплоизоляции. Перекосы, разбухание оконных и дверных проемов. Повреждение приборов, частично электропроводки. Перекос резервуаров, ограждения и др.	Средний ремонт (несколько недель)
Средние	Перекас отдельных опор, деформация элементов ограждения, арматуры и т. д. Проседание некоторых сооружений и агрегатов из-за сдвига фундамента и основания. Падение внутренних стен перегородок. Разрушение обваловки емкостей. Повреждение изоляции кабельных линий, частичный обрыв контактов, повреждение трубопроводов. Внутреннее замыкание обмоток трансформаторов. Разрушение приборов, средств связи и вычислительной техники и др.	Капитально-восстановительные работы (несколько месяцев)
Сильные	Повреждение и разрушение стенового ограждения, деформация перекрытий. Повреждение фундаментов, разрушение эстакад, галерей. Перекас колонн, баков, опор трубопроводов. Обрыв токопроводов, повреждение кабельных линий, подъездных путей. Падение отдельных опор. Серьезное повреждение автотракторной техники и железнодорожного транспорта. Опрокидывание некоторых резервуаров, коммутационных шкафов, ограждений и др.	Капитально-восстановительные работы с привлечением строительных и спецремонтных организаций (от нескольких месяцев до года)

Таблица 6.6

Коэффициент смещения объекта от русла реки

$h_{зат}/h$	$M = 1,25$	$M = 2,0$
0,1	0,2	0,3
0,4	0,6	0,72
0,6	0,76	0,96
0,8	0,92	1,18
1,0	1,12	1,32

Примечание. Параметр профиля поперечного сечения русла (M) определяется путем сравнения поперечного профиля русла с шаблоном (рис. 6.4)

Таблица 6.7

**Варианты заданий к практической работе по теме
«Определение параметров волны прорыва при гидродинамической аварии»**

№ варианта	Тип плотины	Длина плотины, м	Глубина водохранилища, м	Объем воды в водохранилище, тыс м ³	Высота нижнего бьефа, м	Высота верхнего бьефа, м
1	Бетон	100	20	10	10	40
2	Бетон	200	40	30	10	80
3	Бетон	400	60	20	20	50
4	Бетон	800	80	40	20	40
5	Бетон	300	100	60	15	60
6	Бетон	800	120	45	15	40
7	Бетон	800	150	200	20	60
8	Бетон	1000	180	300	30	70
9	Бетон	80	200	400	20	60
10	Смеш.	12	14	15	3	7
11	Смеш.	17	7	33	4	23
12	Смеш.	12	12	18	3	18
13	Смеш.	26	6	42	8	14
14	Смеш.	10	10	37	7	15
15	Смеш.	17	17	18	6	13

Практическая работа 7

Виды аварий на угольных разрезах

Цель работы: знакомство с видами аварий на угольных разрезах.

Теоретические положения

Актуальность вопросов по предупреждению производственного травматизма и аварийности на угледобывающих предприятиях не снижается в течение длительного времени. Из сопоставления показателей производственного травматизма по Иркутской области с ведущими странами мира следует то, что в угольной промышленности бассейна относительный показатель количества травм на 1 миллион тонн добываемого угля существенно выше. По сравнению с США и Великобританией показатель выше в 5–10 раз. Производственный травматизм наносит большой социальный ущерб, связанный с потерей трудоспособности значительным количеством трудящихся, и экономический ущерб. Основные материальные потери включают: затраты по временной нетрудоспособности пострадавших; затраты, связанные с авариями, при которых происходят несчастные случаи и выходят из строя машины, оборудование, горные выработки; затраты, связанные с простоями производственных мощностей и оборудования; экономические потери, объясняемые потерей трудовых ресурсов. Безопасность труда на угледобывающих предприятиях зависит от профессиональной подготовки и личностных качеств рабочих и инженерно-технических работников, от соблюдения ими правил безопасного ведения горных работ, от своевременного прогнозирования соответствующими службами состояния горных выработок и массивов пород и угля, от качества применяемых способов и средств техники безопасности. Исключительно важным является устранение инженерных просчетов в вопросах безопасности труда на стадиях проектирования и эксплуатации объектов.

На угольных разрезах, являющихся опасными производственными объектами, согласно ФЗ № 116 от 21 июля 1997 года проявляются аварии:

- разрушение зданий и сооружений,
- разрушение технических устройств,
- неконтролируемый взрыв,
- выброс опасных веществ.

На стадии проектирования объектов угольного разреза устанавливают границы опасных зон, в которых могут проявляться аварии, и разрабатывают мероприятия по предупреждению аварий. Если на стадии эксплуатации возникает опасность проявления аварии, то горные работы осуществляют по специальному проекту, в котором предусмотрены мероприятия по промышленной безопасности. Границы опасных зон

обозначают на планах горных работ и на местности, где выставляют специальные знаки.

Все аварии можно разделить на два класса. Для аварий первого класса в качестве управляемых параметров, которые определяют условия формирования и предотвращения конкретной аварии, определяют значение какого-либо параметра природных или горнотехнических условий, от которого зависит проявление данной аварии. Значение этого параметра обычно указано в Правилах безопасности или техническом документе. Например, в качестве параметра, определяющего условия формирования обрушения пород из рабочего уступа на угольном разрезе, принимают высоту рабочего уступа. Согласно Правилам безопасности высота рабочего уступа не должна превышать высоту черпания экскаватора.

Для аварий второго класса значения управляемых параметров определяют в специально разработанных математических моделях формирования и предотвращения каждой конкретной аварии. Отсутствие контроля значений управляемых параметров приводит к проявлению аварий. Обычно авария состоит из ряда последовательно проявляющихся нескольких опасных производственных факторов. В качестве примера ниже приведены данные по аварии на шахте «Тайжина» ПО «Южжубассуголь». Авария произошла в апреле 2004 года в лаве по пласту Е5 на глубине 650 м. Мощность пласта 3,2 м, нагрузка на лаву 4000 тонн в сутки. Отход лавы от разрезной печи 746 м. В основной кровле пласта залегает слой песчаника, мощность которого на начало работы лавы равна 7 м. На момент аварии мощность слоя песчаника увеличилась до 20 м. Непосредственная кровля – слоистый алевролит мощностью 12 м. Лава оборудована механизированным комплексом фирмы «Глинник». Последовательность развития аварий можно описать следующими этапами.

1 этап. Произошло обрушение основной кровли на большой площади. Перерасчета шага обрушения основной кровли при увеличении ее мощности не проведено. Обрушение основной кровли произошло с заколом кровли вдоль забоя лавы. По заколу кровля пласта опустилась, крепь лавы просела на 0,3–0,5 м и наклонилась на забой. При этом динамическом ударе на крепь лавы произошел воздушный удар, что свидетельствует о вытеснении из выработанного пространства большого количества воздуха. При воздушном ударе из выработанного пространства в лаву и прилегающие выработки выбросило метан, концентрация которого составила 8 %. Воздушный удар проявился в виде «хлопка» и движения воздушной волны, которая подняла отложившуюся пыль во взвешенное состояние.

2 этап. При динамическом и воздушном ударах на сопряжении конвейерного штрека и вентиляционной печи обрушилась кровля гор-

ной выработки. Сопряжение находилось впереди лавы на 80 м. Сопряжение закреплено анкерной крепью. Длина анкеров 2,4 м. Обрушившейся породой нарушена изоляция кабеля под напряжением.

3 этап. Нарушение изоляции кабеля вызвало его короткое замыкание. Произошел взрыв метана с участием во взрыве угольной пыли.

В прилегающих выработках и по ходу исходящей струи воздуха погибли люди. Наблюдался сначала «хлопок» и с некоторой задержкой признаки взрыва.

Официальными причинами аварии определены:

– обрушение основной кровли мощностью до 20 м на большой площади;

– выброс метана из выработанного пространства при воздушном ударе;

– обрушение кровли на сопряжении конвейерного штрека и вентиляционной печи в 80 м впереди лавы;

– взрывоопасная концентрация метана и угольной пыли;

– повреждение изоляции кабеля.

Ниже приведены виды аварий для угольных разрезов по группам, выделенным в федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Аварии, связанные с разрушением зданий на промплощадке и сооружений в пределах горного отвода, приведены в табл. 7.1.

Таблица 7. 1

Разрушение зданий и сооружений

Аварии	Виды аварий
Разрушение зданий	<ul style="list-style-type: none"> • пожар, • разрушение при воздействии механических сил, транспортных средств и др., • разрушение частей зданий под воздействием воды, • разрушение под воздействием длительного ослабления материалов
Разрушение технических сооружений	<ul style="list-style-type: none"> • разрушение рабочего уступа, • разрушение рабочего борта, • разрушение нерабочего уступа, • разрушение нерабочего борта, • разрушение внешнего отвала, • разрушение внутреннего отвала, • разрушение дамбы гидроотвала, • разрушение автодороги, железнодорожного пути, • разрушение сооружений технологического комплекса, • разрушение противопожарного водоема и трубопровода, • разрушение линий электропередач

Аварии, связанные с разрушением технических устройств, машин

приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Разрушение технических устройств

Аварии	Виды аварий
Аварии, произошедшие непосредственно на рабочем уступе	<ul style="list-style-type: none"> разрушение узлов и деталей экскаваторов в пределах горного отвода, повлекшие к остановке работ по добыче полезного ископаемого на срок более суток
Аварии, произошедшие на отвалах и рабочих бортах карьера	<ul style="list-style-type: none"> падение с бортов разрезов и отвалов технологического транспорта и оборудования
Аварии, произошедшие в пределах горного отвода	<ul style="list-style-type: none"> столкновение подвижных составов на открытых работах в пределах горного отвода; нарушение подачи электроэнергии, приведшие к остановке работ по добыче и транспортированию угля (продолжительностью более смены)

Аварии, связанные с неконтролируемым взрывом, приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Неконтролируемый взрыв

Аварии	Виды аварий
Аварии с взрывчатыми веществами	<ul style="list-style-type: none"> выгорание взрывчатых веществ при взрывных работах, повлекшие тяжелые последствия, взрывы и пожары на складах взрывчатых материалов и других местах их хранения, а также на транспортных средствах, перевозящих взрывчатые вещества, утрата взрывчатых материалов промышленного назначения, которая включает в себя случаи хищения, разбрасывания и потерь взрывчатых материалов
Взрыв баллонов под давлением	<ul style="list-style-type: none"> взрыв баллонов с газом, взрыв компрессорных установок, взрыв паровых котлов, взрыв колеса автосамосвала

Аварии, связанные с выбросом опасных веществ, приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Выброс опасных веществ

Аварии	Виды аварий
Загазирование газами	<ul style="list-style-type: none"> превышение установленной нормы углекислого газа, превышение ПДК вредных газов после взрывных работ, загазирование закрытых помещений при работе автотранспорта
Затопление выработок водой	<ul style="list-style-type: none"> остановка центрального водоотлива (продолжительностью более 1 часа) разрушение водоотливных устройств с затоплением выработок

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите типы аварий на угольных разрезах.
2. Соберите статистические данные по группам аварий на объектах угледобыче в мире, в России и Иркутской области.
3. Ранжируйте аварии в регионе.

Практическая работа 8

Оценка социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий

Цель работы: освоить методику расчета социально-экономического ущерба при транспортных авариях.

Теоретические положения

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП), вызывающие гибель и ранения людей, потери материальных ценностей, приносят значительный социально-экономический ущерб. По оценкам зарубежных специалистов эти потери могут составлять до 5 % валового внутреннего продукта государства.

Экономическая оценка ущерба от ДТП необходима для принятия управленческих решений в сфере безопасности дорожного движения. Знание размеров ущерба дает возможность объективно оценивать масштабы и значимость проблемы дорожно-транспортной аварийности, определять объемы финансовых, материальных ресурсов, которые необходимо и целесообразно направлять на ее решение, оценивать эффективность различных мероприятий и целевых программ, направленных на сокращение аварийности. Оценка стоимости потерь от ДТП и доведение этой информации до населения имеет мощный социально-психологический эффект: эта информация предупреждает людей об угрозе их жизни и здоровью, способствует осознанию ими значения мероприятий и формированию общественной поддержки для их внедрения.

Величина социально-экономического ущерба в результате дорожно-транспортного происшествия (далее – ущерб) включает в себя несколько составляющих:

- ущерб в результате гибели и ранения людей;
- ущерб в результате повреждения транспортных средств;
- ущерб в результате порчи груза;
- ущерб в результате повреждения дороги.

Ущерб в результате гибели и ранения людей составляет самую значительную часть ущерба от ДТП и включает в себя следующие социально-экономические параметры:

- экономические потери из-за выбытия человека из сферы производства;
- социально-экономические потери государства при выплате пенсий по инвалидности и по случаю потери кормильца, а также при оплате лечения в больницах и временной нетрудоспособности;
- социально-экономические потери из-за гибели детей.

Величина ущерба от ДТП оценивается на основе расчета прямых и косвенных народно-хозяйственных потерь.

К прямым (непосредственным) относятся потери владельцев подвижного состава автомобильного транспорта, службы по эксплуатации дорог и ликвидации последствий ДТП и грузоотправителей, затраты ГИБДД и юридических органов на расследование дорожно-транспортных происшествий, медицинских учреждений на лечение потерпевших, предприятий, сотрудники которых стали жертвами аварий (оплата бюллетеней, выдача пособий), затраты государственных органов социального обеспечения (пенсии) и страховые выплаты.

К косвенным относятся потери народного хозяйства вследствие временного или полного выбытия человека из сферы материального производства, нарушения производственных связей и моральные потери.

Полная оценка ущерба от гибели и ранения людей включает элементы как прямых, так и косвенных потерь.

Для оценки потерь из-за выбытия человека из сферы материального производства используется метод общих доходов. Основой этого метода является выражение в денежной форме экономической пользы, которую общество получит благодаря тому, что предотвратит гибель человека в ДТП. При таком подходе собственное потребление человека рассматривается как составная часть государственной прибыли, полученной от производственной и социально-экономической деятельности отдельных граждан.

Расчет величины ущерба от ДТП в результате гибели ранения людей

Общий ущерб (P_0) от дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими определяется по формуле

$$P_0 = P_c + P_b + P_{инр} + P_{ир} + P_p + P_d, \quad (8.1)$$

где P – потери, связанные с гибелью людей, имевших семью;

P_b – потери, связанные с гибелью людей без семьи;

$P_{инр}$ – потери, связанные с получением пострадавшими инвалидности, лишившей полностью их трудоспособности;

$P_{ир}$ – потери, связанные с получением пострадавшими инвалидности, частично лишившей их трудоспособности;

P_p – потери, связанные с временной нетрудоспособностью;

P_d – потери, связанные с гибелью детей.

Потери, связанные с гибелью людей, имевших семью (P_c) и без семьи (P_b) вычисляются по формулам

$$P_c = N_1 \cdot K_c; \quad P_b = N_2 \cdot K_b; \quad (8.2)$$

где $K_c = N_n \cdot d_{ис}$ – количество погибших, имевших семью;

$d_{ис}$ – удельный вес людей из числа погибших, имевших семью;

$K_b = N_n - K_c$ – количество погибших без семьи;

N_n – общее число погибших в ДТП;
 $H1$ – стоимостная оценка ущерба от гибели человека, имевшего семью;
 $H2$ – стоимостная оценка ущерба от гибели человека, не имевшего семью.

Потери, связанные с получением инвалидности, в результате которой пострадавшие не работают ($\Pi_{инр}$) и работают ($\Pi_{ир}$) устанавливаются по формуле

$$\Pi_{инр} = H3 \cdot K_{инр}; \Pi_{ир} = H4 \cdot K_{ир}; \quad (8.3)$$

где $K_{инр} = K_n - K_{ир}$ – количество инвалидов, которые получают пенсию;

$K_{ир} = K_n \cdot d_{ри}$ – количество инвалидов, которые получают пенсию и одновременно работают;

$d_{ри}$ – удельный вес инвалидов, которые получают пенсию и одновременно работают;

$K_n = N_p \times d_{пи}$ – количество пострадавших, получивших инвалидность;

$d_{пи}$ – удельный вес пострадавших, получивших инвалидность;

$K_p = N_p - K_n$ – количество пострадавших, получивших временную нетрудоспособность.

$H3$ – стоимостная оценка ущерба от ранения с получением инвалидности без возможности дальнейшей работы;

$H4$ – стоимостная оценка ущерба от ранения с получением инвалидности и возможностью дальнейшей работы.

Потери от ранения людей, получивших временную нетрудоспособность, определяются по формуле

$$\Pi_p = H5 \cdot K_p; \quad (8.4)$$

где $H5$ – стоимостная оценка ущерба от ранения без получения инвалидности;

$H6$ – стоимостная оценка ущерба от гибели ребенка.

Потери от гибели детей определяются по формуле

$$\Pi_d = H6 \cdot K_d; \quad (8.5)$$

где K_d – число погибших детей.

Стоимостная оценка ущерба в результате гибели и ранения людей

Косновным составляющим ущерба от ДТП с пострадавшими относятся следующие:

а) экономические потери из-за отвлечения из сферы производства людей, погибших или получивших телесные повреждения;

б) затраты на оказание пострадавшим первой медицинской помощи и лечение;

в) выплаты пенсий (инвалидам, семьям погибших);

г) оплата по временной нетрудоспособности.

При подсчете потерь в результате гибели человека определяется ожидаемая продолжительность его трудовой деятельности до пенсионного возраста и оценивается недополученный вклад в ВВП. Средний возраст погибших в ДТП определяется на основе данных государственной статистической отчетности. Для этого используется формула, отражающая удельный вес числа погибших каждой возрастной категории:

$$D = (S_1 \cdot R_1) + (S_2 \cdot R_2) + (S_3 \cdot R_3) + (S_4 \cdot R_4) + \dots + (S_n \cdot R_n); \quad (8.6)$$

где S – средний возраст погибших данной возрастной категории;

R – удельное число погибших данной возрастной категории;

D – средний возраст погибших в ДТП.

Результаты расчетов показывают, что средний возраст погибших в ДТП составляет 39,5 лет. Данная величина должна постоянно уточняться при проведении ежегодных расчетов стоимостной оценки ущерба от гибели человека.

Согласно существующему законодательству пенсионный возраст для мужчин – 60 лет, женщин – 55 лет. Ожидаемое количество лет, которое не дорабатывают до пенсионного возраста: у мужчин – 20,5 лет, у женщин – 15,5 лет, что составляет в среднем 18,5 лет ($T_{рп}$).

Потери в рабочих днях, если человек не работает в течение одного года, составляют 262 рабочих дня.

Оценка величины недополученного валового внутреннего продукта

Для стоимостной оценки ущерба общества в результате гибели и ранения человека методом общих доходов определяется величина D – недопроизведенный им валовый внутренний продукт (ВВП). Эта величина рассчитывается как частное от деления суммы фактического конечного потребления ($\Pi_{кон}$) населения и государственных учреждений (за вычетом социальных трансфертов в натуральной форме) и валового накопления (B_n) за год, на который ведется расчет, на среднегодовую численность населения, занятого в экономике (за тот же год) (N_q).

$$D = \frac{\Pi_{кон} + B_n}{N_q} \quad (8.7)$$

При расчете стоимостных оценок ущерба от гибели или ранения человека за базу принимается прогноз Минэкономики России о росте ВВП на 5 % в 2000 году по отношению к 1999 году в сопоставимых ценах, а также оценка Минэкономики России индекса-дефлятора ВВП: 1999/1998 – 153 % и 2000/1999 – 121 % в текущих ценах. Доходы, которые могли бы быть получены в будущем, если бы человек не погиб и работал, приводятся к настоящему времени методом дисконтирования

Оценка потерь, связанных с выплатой пособий семьям в случае гибели кормильца

Составляющими величины пособий по случаю потери кормильца являются:

- пособия детям и подросткам до 16 лет;
- пособия другим членам семьи, находящимся на иждивении.

Оценка потерь при получении телесных повреждений

При оценке потерь учитываются две группы пострадавших: получившие инвалидность и временную нетрудоспособность, так как эти данные отражаются в официальных документах (отделов социального обеспечения, суда и т. д.)

– при получении инвалидности учитывается: стоимость нахождения в больнице, оплата по временной нетрудоспособности, выплата пенсии по инвалидности, потери доходов обществом;

– при временной нетрудоспособности учитывается: стоимость нахождения в больнице, оплата по временной нетрудоспособности, потери доходов обществом.

Оценка потерь, связанных с получением инвалидности

Средний срок инвалидности составляет 10,6 года [1]. В соответствии с Постановлением Правительства от 11 марта 1999 г. № 279 «Об утверждении Положения о расследовании и учете несчастных случаев на производстве» и Приказа Минздрава России от 17 августа 1999 г. № 322 «Об утверждении Схемы определения тяжести несчастных случаев на производстве» принимается разделение степени тяжести ранения в ДТП на две категории: тяжелые и легкие.

К тяжелым относятся:

– длительные расстройства здоровья с временной утратой трудоспособности 60 дней и выше;

– стойкая утрата трудоспособности (инвалидность).

К легким относятся:

– расстройства здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней.

Оценка потерь, связанных с временной нетрудоспособностью

При определении потерь, связанных с временной нетрудоспособностью, используются следующие данные: средняя продолжительность временной нетрудоспособности, затраты на медицинское обслуживание при стационарном лечении, потери доходов общества из-за временной нетрудоспособности.

Оценка ущерба в результате гибели человека, не имеющего семьи

$$H2 = \Delta_{\text{нп}} + P_y; \quad (8.8)$$

где $\Delta_{\text{нп}}$ – доходы, который принес бы человек, если бы работал с момента гибели до пенсии:

$$\Delta_{\text{нп}} = \sum_{n=1}^{n=18,5} D \times (1+t_p)^n \times i^n / (1+r)^n \quad (8.9)$$

где i – величина индекса ВВП за рассматриваемый период (рассчитывается в долях в текущих ценах);

r – коэффициент дисконтирования (в долях);

t_p – прогноз темпа роста ВВП (рассчитывается в долях в сопоставимых ценах);

P_y – расходы на оказание ритуальных услуг.

Оценка ущерба в результате гибели человека, имевшего семью

В этом случае к $H2$ прибавляется пособие семье по случаю потери кормильца.

$$H1 = H2 + P_{\text{ижл}} \quad (8.10)$$

где $P_{\text{ижл}}$ – сумма ожидаемых к выплате пособий по случаю потери кормильца за 12 лет.

Сумма пособий, ожидаемая к выплате, определяется как:

$$P_{\text{ижл}} = \left(\sum_{n=1}^{n=12} \frac{P_{\text{ижк}} \times i^n}{(1+r)^n} + P_{\text{ижк}} \right) \times 12 \times 1,381 \quad (8.10)$$

где $P_{\text{ижк}}$ – пособие по случаю потери кормильца (среднемесячное) в год, на который ведется расчет.

1,38 – среднее количество человек в семье, получающих пособие по случаю потери кормильца.

Оценка потерь, связанных с получением инвалидности

После ранения в ДТП и получения инвалидности пострадавшему выплачивается пенсия по инвалидности в среднем в течение 10,6 лет [1].

Сумма пенсии определяется следующим образом:

$$P_{\text{ине}} = \left(\sum_{n=1}^{n=10,6} \frac{P_{\text{пз}} \times i^n}{(1+r)^n} + P_{\text{пз}} \right) \times 12 \quad (8.11)$$

где $P_{\text{пз}}$ – среднемесячная пенсия по инвалидности в год, на который ведется расчет.

Оценка потерь при тяжелом ранении за время нахождения пострадавшего в больнице и временной нетрудоспособности

Продолжительность нахождения пострадавшего в больнице – 120 дней, а временной нетрудоспособности – 150 дней.

Потери дохода общества при временной нетрудоспособности ($\Delta_{\text{бл}}$):

$$\Delta_{\text{бл}} = \Pi_c \cdot 150; \quad (8.12)$$

где Π_c – потери в сутки

$$\Pi_c = \Delta / 262; \quad (8.13)$$

Оценка величины недополученных доходов при тяжелом ранении

Доходы, который принес бы человек, если бы полноценно работал с момента ранения в течение 10,6 лет:

$$\Delta_{\text{жр}} = \sum_{x=1}^{x=10,6} D \times (1 + t_p)^x \times i^x / (1 + r)^x \quad (8.14)$$

Оценка ущерба в результате тяжелого ранения человека, получившего инвалидность и работающего

$$H3 = \Delta_{\text{тр}} + \Pi_{\text{инв}} + H_6 + H_T + \Delta_{\text{бл}}; \quad (8.15)$$

где H_6 – затраты на стационарное лечение;

H_T – оплата временной нетрудоспособности.

Оценка ущерба в результате тяжелого ранения человека, получившего инвалидность и работающего

$$H4 = \Delta_{\text{тр}} / 2 + \Pi_{\text{инв}} + H_6 + H_T + \Delta_{\text{бл}}; \quad (8.16)$$

Оценка ущерба в результате легкого ранения

Средняя длительность стационарного лечения одного пострадавшего составляет 20 дней, а средняя продолжительность последующей временной нетрудоспособности пострадавшего составляет 30 дней.

Величина ущерба от легкого ранения складывается из:

- затрат на лечение в больнице (20 дней) – O_6 ;
- оплаты временной нетрудоспособности (30 дней) – $O_{\text{бл}}$;
- потерь общества за время лечения в больнице и временной нетрудоспособности:

$$\Delta_{\text{внт}} = \Pi_c \cdot (30); \quad (8.17)$$

Суммарные потери общества составляют:

$$H5 = O_6 + O_{\text{бл}} + \Delta_{\text{внт}}; \quad (8.18)$$

Оценка ущерба в результате гибели детей

Анализ проведенных ранее исследований показал, что средний возраст гибели ребенка составляет 11 лет. Расчет ущерба для общества в результате гибели ребенка проводится следующим образом:

Определяются затраты на обучение одного ребенка:

$$Z_{\text{обуч.}} = Z_{\text{г.об}} / N_{\text{уч.}}; \quad (8.19)$$

где $Z_{\text{г.об}}$ – затраты на образование в году, на который ведется расчет;

$N_{\text{уч.}}$ – общее количество учащихся в расчетном году.

Определяется доля учащихся в средних специальных учебных заведениях:

$$\Delta N_{\text{T}} = N_{\text{техн}} / N_{\text{уч.}}; \quad (8.20)$$

где $N_{\text{техн}}$ – число учащихся в средних специальных учебных заведениях в расчетный год.

Определяется доля учащихся в ВУЗах в расчетном году:

$$\Delta N_{\text{В}} = N_{\text{ВУЗ}} / N_{\text{уч.}}; \quad (8.21)$$

где $N_{\text{ВУЗ}}$ – число учащихся в ВУЗах в расчетном году.

Определяются затраты общества на обучение, если бы ребенок не погиб:

– затраты на обучение в школе (от 11 до 16 лет):

$$Z_{\text{шк}} = \sum_{n=1}^{n=5} \frac{Z_{\text{обшк}} (1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} \quad (8.21)$$

– затраты на обучение в средних специальных и высших учебных заведениях:

$$Z_{\text{ГЛВ}} = \sum_{n=6}^{n=9} Z_{\text{обшк}} \cdot \left(\frac{\Delta N_{\text{T}} \cdot 3 + \Delta N_{\text{В}} \cdot 5}{8} \right) \cdot \left(\frac{(1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} \right) \quad (8.22)$$

где 3 и 5 – соответственно продолжительность обучения в средних специальных и высших учебных заведениях, год.

Определяется величина заработной платы родителей, необходимой для того, чтобы вырастить ребенка до трудоспособного возраста. Считается, что на ребенка идет $1/2$ заработной платы одного из родителей.

Заработная плата рассчитывается следующим образом:

– заработная плата родителей, приходящаяся на детей, учащихся в школе:

$$Z_{\text{пл.шк}} = \left[\sum_{n=1}^{n=5} \frac{Z_{\text{г}} (1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} \right] \cdot 0,5 \quad (8.23)$$

где $Z_{\text{г}}$ – среднегодовая заработная плата одного работника в расчетный год

– заработная плата родителей, приходящаяся на детей, учащихся в среднем специальном или высшем учебном заведении:

$$Z_{\text{пл.ГЛВ}} = \left[\sum_{n=6}^{n=9} \frac{Z_{\text{г}} (1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} \right] \cdot 0,5 \quad (8.24)$$

Доходы, которые недополучены обществом от ребенка в результате его гибели, составляют:

$$D_{\text{н.г.еб}} = \left[\sum_{n=6}^{n=9} \frac{D (1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} \right] \cdot 0,757 + \sum_{n=10}^{n=42,5} \frac{D (1+t_p) \cdot i^n}{(1+r)^n} - Z_{\text{шк}} - Z_{\text{ГЛВ}} - Z_{\text{пл.шк}} - Z_{\text{пл.ГЛВ}} \quad (8.25)$$

где 0,757 – коэффициент, учитывающий долю учащихся, начинающих работать в 16 лет.

Оценка ущерба от ДТП вследствие повреждения автотранспортных средств и грузов

В состав субъектов, которым непосредственно наносится ущерб от повреждения ТС в ДТП, входят:

1. Владельцы транспортных средств;
2. Владельцы груза.

При расчете по каждому субъекту учитываются составляющие ущерба, расходы по которым они несут.

1. Владельцы транспортных средств:

- 1.1. Стоимость работ по спасению транспортного средства;
- 1.2. Стоимость работ по эвакуации транспортного средства;
- 1.3. Величина ущерба в случае невозможности восстановления транспортного средства;
- 1.4. Стоимость работ по восстановлению (ремонту) транспортного средства;
- 1.5. Величина утраты товарной стоимости транспортного средства в результате ремонтных работ;
- 1.6. Судебные издержки;
- 1.7. Величина ущерба из-за затрат времени, связанных с расследованием дорожно-транспортного происшествия и возмещением убытков;
- 1.8. Невостребованная часть страхового возмещения за транспортное средство.

2. Владельцы груза:

- 2.1. Величина ущерба вследствие срыва договорных обязательств по перевозке грузов и пассажиров;
- 2.2. Величина ущерба из-за повреждения груза или уничтожения груза;
- 2.3. Невостребованная часть страхового возмещения за груз.

Методика предусматривает проведение расчетов по оценке ущерба для следующих видов транспортных средств:

1. Легковые автомобили:

- 1.1. Отечественные;
- 1.2. Импортные.

2. Грузовые автомобили, включая состав прицепов:

- 2.1. Отечественные;
- 2.2. Импортные.

3. Автобусы:

- 3.1. Отечественные;
- 3.2. Импортные.

4. Мототранспортные средства.

Оценка ущерба при повреждении автотранспортных средств и грузов

Величина годового ущерба от повреждения автотранспортных средств и грузов рассчитывается по формуле

$$C_{\text{ущ}} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^w \sum_{l=1}^z C_{ikl} + \sum_{q=1}^x C_{iq} \right) \quad (8.26)$$

где $C_{\text{ущ}}$ – величина годового ущерба от повреждения автотранспортных средств в дорожно-транспортном происшествии, руб.;

n – количество поврежденных ТС;

w – число видов поврежденных ТС;

z – число видов составляющих потерь от повреждения ТС;

x – число видов составляющих потерь от повреждения груза;

C_{ikl} – величина ущерба владельца ТС от повреждения в ДТП i -ого ТС k -го вида, по l -ой составляющей потере, руб.;

C_{iq} – величина ущерба владельца груза по q -ому виду составляющей потерь груза при повреждении i -го числа ТС, руб.

Нижеприведены обозначения и текущие номера индексов, соответствующих формуле (8.26).

Величина ущерба в случае невозможности восстановления транспортного средства ($l=3$) рассчитывается как остаточная стоимость ТС на дату повреждения. Расчет проводится по «Методике оценки остаточной стоимости транспортных средств с учетом технического состояния» Р-0311294-0376-98, утвержденной Минтрансом России.

Стоимость работ по восстановлению (ремонту) транспортного средства ($l=4$) и величина потерь товарной стоимости транспортного средства ($l=5$) рассчитываются по «Методике оценки стоимости поврежденных транспортных средств, стоимости их восстановления и ущерба от повреждения» Р-03112194-0377-98, утвержденной Минтрансом России (см. табл. 8.1–8.3).

Таблица 8.1

Характеристики поврежденных транспортных средств

Текущий номер индекса, k	Характеристика транспортного средства при расчете ущерба
1	Отечественные легковые автомобили
2	Импортные легковые автомобили
3	Отечественные грузовые автомобили, включая прицепной состав
4	Импортные грузовые автомобили, включая прицепной состав
5	Отечественные автобусы
6	Импортные автобусы
$w = 7$	Мототранспортные средства

Таблица 8.2

Характеристики потерь при расчете ущерба

Текущий номер индекса, l	Характеристика потерь при расчете ущерба
1	Стоимость работ по спасению транспортного средства
2	Стоимость работ по эвакуации транспортного средства
3	Величина ущерба в случае невозможности восстановления транспортного средства
4	Стоимость работ по восстановлению (ремонту) транспортного средства
5	Величина потери товарной стоимости транспортного средства
6	Величина судебных издержек
7	Величина потерь, связанных с затратами времени на расследование дорожно-транспортного происшествия и возмещение убытков
$z = 8$	Невостребованная часть страхового возмещения за транспортное средство

Таблица 8.3

Характеристики потерь при перевозке пассажиров и грузов

Текущий номер индекса, q	Характеристика потерь при расчете ущерба
1	Величина ущерба вследствие срыва договорных обязательств по перевозке грузов и пассажиров
2	Величина ущерба из-за повреждения груза или уничтожения груза
$x = 3$	Невостребованная часть страхового возмещения за груз

Для практических расчетов на основе формулы (8.26) необходимо использовать следующую формулу:

$$C_{\text{ущ}} = N_{\text{ТСпов}} \cdot \left(\sum_{k=1}^w \sum_{l=1}^z \delta_k \cdot \gamma_l \cdot C_{kl} + \varphi \cdot \sum_{q=1}^x \lambda_q \cdot C_q \right) \quad (8.27)$$

где $N_{\text{ТСпов}}$ – количество поврежденных ТС в ДТП за год;

w – число видов поврежденных ТС;

z – число видов составляющих потерь от повреждения ТС;

δ_k – доля поврежденных ТС k -го вида в общем количестве поврежденных ТС;

γ_l – доля поврежденных ТС, для которых рассчитывается l -я составляющая ущерба ТС в общем количестве поврежденных ТС;

C_{kl} – ущерб от ДТП владельца одного поврежденного ТС k -го вида по l -ой составляющей ущерба, руб.;

φ – доля ТС, перевозивших груз в общем количестве поврежденных ТС;

x – число видов составляющих потерь груза от ДТП;

λ_q – доля поврежденных ТС, у которых поврежден груз и для которых рассчитывается q -ая составляющая ущерба груза;

C_q – ущерб владельца груза по q -ой составляющей в одном ДТП в случае повреждения груза, руб.

Доля поврежденных ТС k -го вида в общем количестве поврежденных ТС рассчитывается по следующей формуле

$$\delta_k = \frac{N_{ТС_{повеk}}}{N_{ТС_{пове}}} . \quad (8.28)$$

Ущерб владельцев ТС по всем составляющим рассчитывается на основе табл. 8.4. В данной таблице, в частности, C_{31} – стоимость работ по спасению отечественного грузового автомобиля.

Таблица 8.4

Ущерб владельца транспортного средства по всем составляющим

Виды ТС, k	Составляющие потерь транспортного средства							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}
2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}
3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}	C_{38}
4	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	C_{45}	C_{46}	C_{47}	C_{48}
5	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	C_{55}	C_{56}	C_{57}	C_{58}
6	C_{61}	C_{62}	C_{63}	C_{64}	C_{65}	C_{66}	C_{67}	C_{68}
7	C_{71}	C_{72}	C_{73}	C_{74}	C_{75}	C_{76}	C_{77}	C_{78}

Доля ТС, перевозивших груз, в общем количестве поврежденных ТС принимается равной 30 %.

Ущерб владельца груза рассчитывается по следующей табл. 8.5.

Таблица 8.5

Составляющие потерь владельца груза

Составляющие потерь груза, q	1	2	3
Стоимость ущерба по каждой составляющей, руб.	C_1	C_2	C_3

Оценка ущерба от повреждения дорожных сооружений

Ущерб от повреждения дорожных сооружений в результате ДТП определяется величиной затрат на последующее восстановление дороги, дорожных и придорожных сооружений.

Поскольку в результате ДТП могут оказаться поврежденными одновременно несколько дорожных сооружений или их элементов расчет общего ущерба в каждом конкретном случае выполняется по формуле

$$П_d = (П_d + П_{d2} + П_{d3} + \dots + П_{di}); \quad (8.26)$$

где $П_d$ – общий ущерб от повреждения дорожных сооружений, руб. в текущих ценах;

$П_{di}$ – ущерб от повреждения i -го дорожного сооружения, руб. (табл. 8.6).

Таблица 8.6

Временные нормативы затрат на восстановление поврежденных элементов дороги

№ п/п	Поврежденный элемент дороги	Ед. изм.	Затраты на восстановление, руб.
1	2	3	4
1.	Дорожные знаки		
1.1.	Знаки: указательные, запрещающие, предупреждающие, предписывающие, километровые	1 шт.	257,4
1.2.	Стойки знаков	1 шт.	184,8
1.3.	Дорожные металлические указатели на 2 стойках	1 шт.	343,2
1.4.	Дорожные металлические на 3 стойках	1 шт.	5062,2
1.5.	Металлические рамные конструкции	1 шт.	19800
1.6.	Сигнальные столбики	1 шт.	85,5
1.7.	Знаки на безфундаментной стойке	1 шт.	191,4
2.	Дорожные ограждения		
2.1.	Пешеходные ограждения	1 п.м.	39,6
2.2.	Барьерные ограждения	1 п.м.	151,8
2.3.	Опоры ограждений	1 шт.	165
2.4.	Мостовые ограждения	1 п.м.	66
2.5.	Металлические ограждения	1 п.м.	0
2.6.	Железобетонные ограждения	1 п.м.	0
3.	Автобусные павильоны	1 шт.	0
4.	Бортовые камни	1 п.м.	118,8
5.	Водосбросы и водоотводные лотки на откосе земляного полотна	1 п.м.	574,2
6.	Обочины	1 м ²	19,8
7.	Откосы земляного полотна	1 м ²	13,2
8.	Кюветы	1 м ³	19,8
9.	Оголовки водопропускных труб	1 п.м.	32 029,8
10.	Гасители у подошвы насыпи	1 шт.	2620,2
11.	Опоры светильников	1 шт.	4620
12.	Опоры мостов, путепроводов	1 шт.	6204

Для упрощенных расчетов в целях определения ущерба от повреждения дорожных сооружений используются средние оценки по видам ДТП в соответствии с данными табл. 8.7.

Таблица 8.7

Средние оценки по видам ДТП

№ п/п	Вид ДТП	Средний ущерб от повреждения дорожных сооружений, руб. в ценах 1998 г.
1	2	3
1.	Наезд на неподвижное препятствие	4752
2.	Опрокидывание	660
3.	Столкновение	165
4.	Наезд на пешехода	165

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите методику расчета ущерба от дорожно-транспортных происшествий.
2. Пользуясь статистическими справочнике соберите информацию по ДТП в г. Иркутске и Иркутской области
3. Выполните расчет ущерба по одной и аварий, имевших место в регионе.

Практическая работа 9

Оценка ущерба от аварий на опасных производственных объектах

Цель работы: научиться рассчитывать ущерб от аварий на опасных производственных объектах.

Теоретические положения

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 (10 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:

$$P_a = P_{п.п} + P_{л.а} + P_{сэ} + P_{н.в} + P_{экол} + P_{в.т.р}, \quad (9.1)$$

где P_a – полный ущерб от аварий, руб.;

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

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

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

$P_{н.в}$ – косвенный ущерб, руб.;

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

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

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

$$\Pi_{п.п} = \Pi_{о.ф} + \Pi_{тм.ц} + \Pi_{им}, \quad (9.2)$$

где $\Pi_{о.ф}$ – потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) основных фондов (производственных и непроизводственных), руб. Поврежденными считаются материальные ценности (здания, сооружения, оборудование, продукция, личное имущество и т. д.), которые в результате ремонтно-восстановительных работ после аварии могут быть приведены в состояние, позволяющее их использовать по первоначальному функциональному назначению. В противном случае они считаются уничтоженными;

$\Pi_{тм.ц}$ – 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

$$\Pi_{л.а} = \Pi_{л} + \Pi_{р}, \quad (9.3)$$

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

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

Социально-экономические потери, $\Pi_{сэ}$, 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, $\Pi_{т.т.л}$:

$$\Pi_{сэ} = \Pi_{г.п} + \Pi_{г.т.л} + \Pi_{т.п} + \Pi_{т.т.л}. \quad (9.4)$$

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, $\Pi_{н.п.т.л}$:

$$\Pi_{н.в} = \Pi_{н.п} + \Pi_{з.п} + \Pi_{ш} + \Pi_{н.п.т.л} \quad (9.5)$$

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

$$\Pi_{экол} = \mathcal{E}_а + \mathcal{E}_в + \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_б + \mathcal{E}_о, \quad (9.6)$$

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

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

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

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

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

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, $\Pi_{о.ф.}$, можно определить как сумму потерь в результате уничтожения, $\Pi_{о.ф.у.}$, и повреждения, $\Pi_{о.ф.п.}$, основных фондов

$$\Pi_{о.ф.} = \Pi_{о.ф.у.} + \Pi_{о.ф.п.} \quad (9.7)$$

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

$$\Pi_{о.ф.у.} = \sum_{i=1}^n (S_{oi} - (S_{mi} - S_{yi})) \quad (9.8)$$

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, $\Pi_{\text{о.ф.п.}}$, 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) аварией товарно-материальных ценностей, $\Pi_{т.м.ц}$, можно определить по сумме потерь каждого вида ценностей следующим образом:

$$\Pi_{т.м.ц} = \sum_{i=1}^n \Pi_{тi} + \sum_{j=1}^m \Pi_{cj} \quad (9.9)$$

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

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

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

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

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

Π_{cj} 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, $\Pi_{т.м.ц}$, 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 опреде-

лать аналогично определению ущерба имуществу предприятия (для юридических лиц), а также на основании рыночной стоимости принадлежащего им по праву собственности или владения имущества (для физических лиц) и (или) с учетом данных страховых компаний (в случае застрахованного имущества).

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

Расходы на локализацию (ликвидацию) аварии $\Pi_{л.а}$.

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 и 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, $\Pi_{т.т.л}$, и (или) травмирования персонала, $\Pi_{т.п}$, и третьих лиц, $\Pi_{т.т.л}$:

$$\Pi_{\text{сэ}} = \Pi_{\text{г.п}} + \Pi_{\text{г.т.л}} + \Pi_{\text{т.п}} + \Pi_{\text{т.т.л}}. \quad (9.10)$$

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

$$\Pi_{\text{г.п}} = S_{\text{пог}} + S_{\text{п.к}}, \quad (9.11)$$

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

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

Затраты, связанные с травмированием персонала, можно вычислять по формуле

$$\Pi_{\text{т.п}} = S_{\text{в}} + S_{\text{и.п}} + S_{\text{м}}, \quad (9.12)$$

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

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

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

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

Ущерб от гибели, $\Pi_{\text{г.т.л}}$, и травмирования третьих лиц, $\Pi_{\text{т.т.л}}$, 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, *См.* 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).

К о с в е н н ы й у щ е р б

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:

$$\Pi_{н.в} = \Pi_{з.п} + \Pi_{н.п} + \Pi_{ш} + \Pi_{н.п.т.л}, \quad (9.13)$$

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

$$\Pi_{з.п} = (V_{з.п}A + V_{уп})T_{пр}, \quad (9.14)$$

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

$$\Pi_{з.п} = (V_{з.п1}N + V_{уп})T_{пр}, \quad (9.14a)$$

где $V_{з.п1}$ – 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

$$\Pi_{н.п} = \sum_{i=0}^n \Delta Q_i (S_i - B_i) \quad (9.15)$$

где n – количество видов недопроизведенного продукта (услуги);

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

$$\Delta Q_i = (Q_i^0 - Q_i^1)T_{пр i}, \quad (9.16)$$

где 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.

$T_{\text{пр}i}$ – 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 $T_{\text{э.н}}$ и $T_{\text{н.н}}$ 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., $\Pi_{\text{ш}}$, 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, $\Pi_{\text{экол}}$, можно определить как сумму ущербов 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

Потери от выбытия трудовых ресурсов, $\Pi_{в.т.р.г}$, из производственной деятельности в результате гибели одного человека рекомендуется определять по формуле

$$\Pi_{в.т.р.г} = H_T T_{р.д}, \quad (9.17)$$

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

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

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

Пример 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 Иркутской 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 простоя 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)

$$\Pi_{\text{о.ф.у}} = 6\,080\,000 - 80\,000 = 6\,000\,000 \text{ руб.} = 6\,000 \text{ тыс. руб.}$$

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,

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

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):

$$\Pi_{\text{п.п}} = 6\,000\,000 + 245\,000 + 3\,635\,000 = 9\,880\,000 \text{ руб.} = 9\,880 \text{ тыс. руб.}$$

2. Затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии

Расходы, связанные с ликвидацией и локализацией аварии, $\Pi_{\text{л}}$, 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:

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

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

Таким образом, расходы на локализацию (ликвидацию) и расследование причин аварии составят по формуле (5.3):

$$P_{л.а} = 120\ 000 + 100\ 000 = 220\ 000 \text{ руб.} = 220 \text{ тыс. руб.}$$

3. Социально-экономические потери

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. Согласно пп. 2.3, 2.2 периоды выплаты пенсий по случаю потери кормильца составляют соответственно:

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

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

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 $6 \cdot (1 - 2/4)/2 = 1,5$ тыс. руб. Общая величина выплаты по случаю потери кормильца, $S_{\text{п.к}}$, составит:

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

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,

$$S_{\text{м}} = 2400 + 1700 + 10\ 000 + 6000 = 20\ 100 \text{ руб.} = 20,1 \text{ тыс. руб.}$$

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

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

$$S_{\text{стр}} = 216 \cdot 3000 = 648 \text{ тыс. руб.}$$

Выплаты пособия по временной нетрудоспособности, $S_{\text{в}}$, пострадавшему (при средней месячной зарплате, равной 6 тыс. руб., 21-м рабочим дням в месяце, когда произошла авария, и периоде до установления стойкой нетрудоспособности со дня аварии, равном десяти рабочим дням) составят $(6000/21) \cdot 10 = 2860$ 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: $6000 + 252 \cdot 1000 + 20100 + 648 \cdot 1000 + 2860 = 928 \cdot 1000 + 2860 = 928,96$ тыс. руб.

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

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

4. Косвенный ущерб

Косвенный ущерб, $\Pi_{\text{н.в}}$, вследствие аварии определяется в соответствии с формулами (8.13–8.16).

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

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

$$\Pi_{\text{з.п}} = (100 \cdot 100 + 2000) \cdot 10 = 120 \cdot 1000 \text{ руб.} = 120 \text{ тыс. руб.}$$

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 раз-

рушений, 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

$$20 \cdot 10 \cdot 1000 + 100 \cdot 3 \cdot 200 + 700 \cdot 5 \cdot 200 + 3500 \cdot 7 \cdot 50 + 800 \cdot 10 \cdot 1000 = \\ = 10\,185\,000 \text{ руб.} = 10\,185 \text{ тыс. руб.}$$

Убытки, вызванные уплатой различных штрафов, пени и пр., $\Pi_{ш}$, 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

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

5. Экологический ущерб

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

Расчет производился в соответствии действующими нормативами

$$\mathcal{E}_a = 5 \sum (H_{б.а.і} M_{и.і}) K_{и} K_{э.а},$$

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

$M_{и.і}$ – масса i -го загрязняющего вещества, выброшенного в атмосферу при аварии (пожаре), т (оценивается в соответствии с методикой);

$K_{и}$ – коэффициент индексации платы за загрязнение окружающей природной среды. $K_{и}$ принимался равным 94;

$K_{э.а}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха экономических районов Российской Федерации.

Для СФО при выбросе загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров:

$$K_{э.а} = 1,1 \cdot 1,2 = 1,32.$$

Пример оценки возможных взысканий за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха при пожарах на резервуарах с нефтепродуктами приведен в табл. 9.1.

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

Таблица 9.1

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

Тип оборудования	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 (С)	HCN	HCHO	CH ₃ -COOH	
ЖБР-10000 (нефть)	6673	26680	223,9/ 3473	18,4/ 23 681	74/ 75 868	2,7/ 17 077	453,2/ 463 941	2,7/ 13 645	2,7/ 45 484	40/ 34 113	677 286
РЕС-20000 (нефть)	13 346	5316,7	446,6/ 6927	36,7/ 47 226	148/ 151 300	5,3/ 34 056	903,8/ 925 215	5,3/ 27 212	5,3/ 90 707	80/ 68 031	1 350 679
РВСП-20С00 (бензин)	10 944	10379,5	32,3/ 501	156,7/ 201 764	12/ 12 750	10,4/ 66 487	15,3/ 15 619	10,4/ 53 125	85/ 94 386	85/ 4719	449 363
РЕС-20000 (керосин)	10 696	7475,1	52,8/ 819	195,1/ 251 159	35/ 36 041	7,5/ 47 883	98,4/ 96 710	7,5/ 38 260	88/ 150 489	27/ 23 275	646 642
РЕС-20000 (ДТ)	12 240	6112,4	43,2/ 669	159,5/ 205 373	29/ 29 471	6,1/ 39154	78,9/ 80 716	6,1/ 31 285	7,2/ 123 055	22/ 19 032	528 760
РЕС-20000 (мазут)	14 592	4370,7	367,1/ 5694	30,2/ 38 823	122/ 12 4380	4,4/ 27 997	743,0/ 760 597	4,4/ 22 370	4,4/ 74 568	66/ 55 926	1 110 360

б. 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,

$$\Pi_{\text{в.т.р.г}} = 6000 \cdot (9,50 \cdot 10^{10} / 2\,057,5 \cdot 10^3) / (52 \cdot 5) = 1\,065\,500 \text{ руб.} = 1\,065,5 \text{ тыс. руб.}$$

В результате проведенного расчета суммарный ущерб от аварии по формуле (9.1) составляет:

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

Результаты расчетов сведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2**Результаты расчета суммарного ущерба от аварии**

Вид ущерба	Величина ущерба, тыс. руб.
Прямой ущерб	9880
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. Внимательно изучите процедуру расчета ущерба.
2. Составьте сценарий гипотетической аварии на объекте нефтехимии в Иркутской области, сопровождающимся пожаром и или на Саянском химпласте с выбросом хлора.
3. Выполните расчет ущерба от аварий.

Практическая работа 10

Определение показателей безотказности машин по статистическим данным

Цель работы: освоить методику статистической обработки информации о надежности машин и рассчитать количественные показатели безотказности.

Теоретические положения

Надежность является комплексными свойствами изделия, которые включают безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность - это свойства изделия непрерывно сохранять работоспособность в течении некоторого времени или некоторой наработки. В соответствии с ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» восстанавливаемых изделий оценивается следующими показателями:

- 1 – наработка на отказ;
- 2 – параметр потока отказов;
- 3 – вероятность безотказной работы.

В данной практической работе необходимо рассчитать показатели безотказности машин. Информация об отказах получена путем эксплуатационных наблюдений. Во время наблюдений, которые велись несколько месяцев, фиксировалась наработка в часах каждой машины между ее отказами.

Порядок выполнения работы

Работа выполняется по вариантам. Для каждого варианта информация представлена в виде статистической выборки.

1. Определить показатели безотказности

1.1. Рассчитать среднюю наработку на отказ

В задании дана наработка каждой машины между ее отказами. Нарботка между отказами является случайной величиной. Для описания случайной величины рассчитываются статистические характеристики и определяется вид закона ее распределения.

Статистическими характеристиками являются:

- среднее значение случайной величины X ;
- дисперсия D ;
- коэффициент вариации V .

При расчете выполняется таблица по следующей форме

Таблица 10.1

Сводные данные расчетных значений статистических характеристик

№ интервала	Границы интервала	Средина интервала, X_{cp}	Частота в интервале, n_i	$X_{cp} \cdot n_i$	$(X_{cp}-x)$	$(X_{cp}-x)^2$	$(X_{cp}-x)^2 \cdot n_i$	Частость, P_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								
....								
11								

Последовательность расчетов статистических характеристик:

Составить ряд распределения.

Для упрощения расчета численных значений случайной величины разбиваются на несколько интервалов. При объеме выборки около 100 единиц рекомендуется назначать 6–10 интервалов. Ширина интервала равна

$$\Delta X = W/k, \quad (10.1)$$

где $W = X_{max} - X_{min}$ – размах выборки;

X_{max} X_{min} – максимальное и минимальное значения случайной величины в выборке; k – число интервалов.

В колонку 2 табл. 10.1 записываются границы интервалов в порядке возрастания случайной величины, т. е. составляется ряд распределения.

1.2. Рассчитать среднее значение выборки \bar{X}

Для этого в каждом интервале определяется среднее значение интервала, подсчитывается частота n_i попадания случайных величин в каждый интервал. При этом если значение попадает вне границы двух интервалов, его нужно отнести к левому интервалу.

Среднее значение выборки определяется по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum (X_{cp\ i} \cdot n_i)}{N} \quad (2)$$

где $X_{cp\ i}$ – середина i -го интервала;

n_i – число случаев в i -том интервале;

$\sum X_{cp\ i}$ – сумма значений по вертикали в колонке 5;

N – объем выборки;

k – число интервалов.

Среднее число выборки и является средней наработкой на отказ T_0 .

1.3. Определить дисперсию выборки D и среднее квадратическое отклонение σ .

Дисперсия случайной величины характеризует ее рассеивание около математического ожидания. Для выборки объемом N дисперсия определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum (x_{\text{ср}i} - \bar{x}) \cdot n_i}{N - 1} \quad (10.3)$$

В соответствии с этой формулой для каждого интервала рассчитывается разность и заполняются последовательно колонки 6, 7 и 8 табл. 10.1. Числитель формулы 2 является суммой всех значений в колонке 8.

Среднее квадратическое отклонение равно корню квадратному из дисперсии,

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (10.4)$$

Размерность среднего квадратического отклонения совпадает с размерностью случайной величины.

1.4. Рассчитать коэффициент вариации. Числовое значение коэффициента вариации

$$V = \sigma / X. \quad (10.5)$$

2. Определить закон распределения наработки между отказами

Закон распределения характеризует связь между значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Случайные величины, используемые для оценки показателей надежности, наиболее часто подчиняются нормальному, экспоненциальному или распределению Вейбулла.

2.1. Построить гистограмму эмпирического распределения и выдвинуть статистическую гипотезу.

Гистограмма распределения строится по результатам расчета статистической вероятности. Статистической вероятностью является частность

$$P_i = n_i / N, \quad (10.6)$$

где n_i , – число случаев в i -ом интервале;

N – объем выборки.

Значение P необходимо записать в колонку 9 табл. 10.1.

При построении гистограммы по оси абсцисс откладываются интервалы (берутся из табл. 10.1) и на каждом интервале строятся прямоугольники, высота которых равна P . Масштаб по оси ординат выбирается в зависимости и от максимального значения P .

По виду гистограммы необходимо выдвинуть статистическую гипотезу, т. е. предварительно определить закон распределения случайной величины. При этом учесть, что если коэффициент вариации $V < 0,33$, то наиболее вероятно нормальное распределение; если $V = 0,33 - 2,00$, то может

быть распределение Вейбулла; если $V = 1,0$, вероятным является экспоненциальное распределение.

2.2. Проверить статистическую гипотезу.

Правдоподобие гипотезы оценивается критериями согласия. С помощью критериев определяется – с какой вероятностью эмпирическое распределение согласуется с теоретическим, т. е. оценивается сходимость по вероятности.

Наиболее часто применяется критерий Пирсона, который рассчитывается по формуле

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - NP_i)^2}{NP_i} \quad (10.7)$$

где k , n_i , N – см. уравнение 1 и табл. 10.1;

P_i – теоретическая вероятность в каждом интервале.

Предварительный анализ информации показывает, что распределение между отказами машин во всех вариантах задания близко к экспонентному. В связи с этим в данной работе предлагается оценить сходимость с экспоненциальным законом.

Таблица 10.2

Расчетные данные для оценки сходимости распределения между отказами машин

№ п/п	x_a	x_b	$\lambda \cdot x_a$	$\lambda \cdot x_b$	$e^{-\lambda \cdot x_a}$	$e^{-\lambda \cdot x_b}$	P_i	$N \cdot P_i$	$n_i \cdot N \cdot P_i$	$(n_i - N \cdot P_i)^2$	$\frac{(n_i - N \cdot P_i)^2}{N \cdot P_i}$
1											
2											
3											
...											
9											

Последовательность расчетов

1. Начертить таблицу по форме табл. 10.2.
2. Заполнить колонки 1, 2, 3, взяв данные из табл. 10.4–10.12.
3. Рассчитать показатель, экспоненты
4. Для каждого интервала рассчитать значения X_{-k_a} и X_{-j} , колонки 4 и 5 табл. 10.2).
5. По приложению А X^2 значений функции $\exp(-\lambda \cdot x)$ найти значение в каждом интервале (колонки 6 и 7).
6. Рассчитать теоретическую вероятность P_i в каждом интервале (колонка 8).
7. Определить значение $N \cdot P_i$ для колонки 9. Произведение $N \cdot P_i$ является теоретическим числом случаев попадания изучаемой величины в i -й интервал.

8. Выполнить последующие расчеты и заполнить колонки 10, 11 и 12. Разность $(n_i - N \cdot P_i)$ характеризует между опытным и теоретическим числом случаев в каждом интервале.

9. Определить значение критерия X^2 , суммируя результаты по всем интервалам колонки 12.

10. По критерию X^2 и числу степеней свободы

Число степеней свободы

$$r = k - S,$$

где k – число интервалов (табл. 10.2);

S – число наложенных связей ($S=3$ – для двухпараметрического распределения, $S = 2$ – для однопараметрического расположения). Экспоненциальное распределение является однопараметрическим. Вероятность P находится следующим образом: в строке, соответствующей полученному значению g ; найти число, близкое к расчетному X^2 . В этой колонке (вверху) и будет находиться значение вероятности P .

Гипотеза считается, правдоподобной, если $P \geq 0,1$. В заключении расчета запись, с какой вероятностью подтверждается выбранная гипотеза о распределении наработки между отказами.

2.3. *Определить показатели безотказности.*

1. Рассчитать параметр потока отказов.

Параметр потока отказов является показателем безотказности восстанавливаемых изделий. Такое изделие начинает работу и работает до отказа. Отказ восстанавливается и работа изделия продолжается до следующего отказа. Моменты отказов формирует поток, который называется потоком отказов (при этом не учитывается время восстановления). Параметр потока отказов определяется по формуле.

$$\omega(T) = \Omega(\Delta T) / N \Delta T, \quad (10.8)$$

где $\Omega(\Delta T)$ – количество отказов всех машин за период ΔT ; N – число машин; ΔT – интервал времени, ч.

По данным таблицы «Поток отказов» необходимо рассчитать значения $\omega(T)$ в каждом интервале и определить среднее значение $\omega_{cp}(T)$. Построить график изменения параметра потока отказов за весь период наблюдений (по оси абсцисс – интервалы, по оси ординат – значения $\omega(T)$).

2. Построить кривую вероятности безотказности работы.

При экспоненциальном распределении наработки между отказами параметр потока отказов численно равен интенсивности отказов, т. е. $\omega(T) = \lambda$. В этом случае вероятность безотказной работы определяется по уравнению:

$$P(T) = \exp(-\lambda_{cp} T) = e^{-\lambda_{cp} T}, \quad (10.9)$$

где $\lambda_{cp} = \omega(T) = \text{const}$;

T – наработка изделия.

Вероятность безотказной работы характеризует, с какой вероятностью не возникает отказ объекта в пределах заданной наработки. Кривая вероятности безотказной работы строится в следующих координатах: по

оси абсцисс наработка T , по оси ординат – расчетное значение $P(T)$. Для построения рекомендуется результаты расчетов занести в таблицу по следующей форме (табл. 10.3)

Таблица 10.3

Таблица расчетов

$T, \text{ ч}$	0	10	20	30	40	и т. д.
$\lambda_{\text{ср}} T$						
$P(t) = e^{(-\lambda_{\text{ср}} t)}$						

3. Рассчитать вероятность отказа машины за период работы, равный одной смене, одной неделе (7 смен) и одному месяцу (30 смен). Сменная наработка указана в задании для каждого варианта. Вероятность отказа

$$F(T) = 1 - P(T). \quad (10.10)$$

4. Определить значение коэффициента готовности

Коэффициент готовности является комплексным показателем характеризующим безотказность и ремонтпригодность. Расчет производится по формуле

$$K_z = T_0 / (T_0 + T_в), \quad (10.11)$$

где T_0 – средняя наработка на отказ;

$T_в$ – среднее время восстановления отказа, ч (см. исходные данные к заданиям).

Исходные данные к заданиям (часть 2)

Таблица 10.4

Вариант 1. Диагностический стенд

№ объекта	Наработка между отказами $T, \text{ ч}$																
	1	40	5	35	65	35	0	50	0	20	25	15	25	145	0	5	0
2	20	150	30	20	0	100	40	25	30	20	15	15	35				
3		75	90	90	55	30	30	20	20	25	65	60					
4	165	15	15	160	30	50	65	25									
5	5	20	20	25	30	10	0	75	10	30							
6	10	40	20	0	60	20	0	15	55	40	30	60	45				
7	70	40	45	15	25	35	0	60	30	10	45	5	60				
8	30	45	15	10	30	50	40	45	40	120	20	10	40				
9	25	10	60	45	100	15	45	40	45	30	20	45	80	5			

Таблица 10.5

Вариант 1. Поток отказов

Наработка	Февраль	Март		Апрель		Май	Октябрь	Ноябрь
	70 ч	75 ч	80 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч
Количество отказов на период	12	15	14	14	13	14	15	14

Продолжительность сменной работы – 5 часов.
Суммарное время восстановления отказов – 175 часов

Таблица 10.6

Вариант 2. Шиномонтажный комплект (5 комплектов)

№ объекта	Наработка между отказами Т, ч															
	1	0	0	5	5	0	0	35	10	10	5	30	0	10	0	10
2	15	25	10	0	10	10	0	5	5	5	0	5	5	0		
3	5	0	0	20	0	20	0	25	20	10	15	0	0	5	0	
4	5	0	0	20	5	30	0	0	25	0	0	5	0	0		
5	0	0	5	0	0	0	0	20	0	0	10	15	5	0	0	
6	0	15	0	15	5	0	0	0	15	15	20	5	0	9		
7	15	10	5	0	35	0	0	5	0	10	10	5	0	5	0	
8	5	15	5	0	0	20	0	10	10	0	15	0	5	5		

Таблица 10.7

Вариант 2. Поток отказов

Наработка	Май	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь
	80 ч	75 ч	75 ч	75 ч	80 ч	75 ч	80 ч	75 ч	75 ч	50 ч
Количество отказов на период	10	9	12	10	13	17	13	10	12	9

Продолжительность сменной работы – 5 часов.
Суммарное время восстановления отказов – 26 часов.

Таблица 10.8

Вариант 3. Стенд для регулировки топливной аппаратуры

№ объекта	Наработка между отказами Т, ч																
	1	60	35	20	20	145	25	15	25	20	0	5	0	35	65	5	5
2	15	15	20	30	25	40	100	0	0	30	150	5					
3	65	25	20	20	30	30	55	15	90	75	35						
4	25	65	50	30	160	15	15	165	0	5							
5	30	10	75	0	10	30	25	20	20								
6	45	60	30	40	55	15	0	20	60	0	20	40	10				
7	60	5	45	10	30	60	0	35	25	15	45	40	70				
8	40	10	20	120	40	45	40	50	30	10	15	45	30				
9	50	25	80	45	20	30	45	40	45	15	100	45	60	10			

Таблица 10.9

Вариант 3. Поток отказов

Наработка	Февраль	Март		Апрель		Май	Октябрь	Ноябрь
	70 ч	75 ч	80 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч
Количество отказов на период	12	15	14	14	13	14	15	14

Продолжительность сменной работы – 5 часов.
Суммарное время восстановления отказов – 175 часов

Таблица 10.10

Вариант 4. Диагностический стенд

№ ма- ма- шины	Наработка между отказами Т, ч																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	40	0	35	65	35	5	5	0	20	25	15	25	145	20	20	35	60
2	105	150	30	0	0	100	40	25	30	20	15	15					
3	30	75	190	15	55	0	0	30	20	20	25	65					
4	165	15	15	160	30	50	65	25									
5	5	20	20	25	0	10	0	75	10	30							
6	10	40	20	0	60	0	20	15	55	40	30	60	45	25	50		
7	70	0	45	15	25	35	40	60	30	10	45	5	60				
8	35	45	15	10	30	50	40	45	40	120	20	10	40				
9	5	10	60	45	100	15	45	40	45	30	20	45	80				

Таблица 10.11

Вариант 4. Поток отказов

Наработка	Февраль	Март		Апрель		Май	Октябрь	Ноябрь
	70 ч	75 ч	80 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч	75 ч
Количество от- казов на период	12	15	14	14	13	14	15	14

Продолжительность сменной работы – 5 часов.
Суммарное время восстановления отказов – 175 часов

Таблица 10.12

Вариант 5. Подъемник автомобильный

№ машины	Наработка между отказами Т, ч								№ машины	Наработка между отказами Т, ч							
	1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	25	4	2	15	9	8	9	1	10	30	29	3	1			
2	1	33	8	12	16	17	4	10	20	32	20	3					
3	41	3	7	12	12			11	21	4	3	5	30				
4	3	29	3	2	11	12	7	12	10	8	16	15	3	24			
5	2	5	34	2	8	15	12	13	5	4	10	15	48	5	8		
6	5	20	27	21	7	20		14	5	1	14	5	22	16			
7	7	20	33	3	6	1	11	15	1	16	17	5	16	12	14		
8	19	11	20	22	24	7		16	4	20	27	20	6	16			

*Таблица 10.13***Вариант 5. Поток отказов**

Наработка	Февраль	Март		Апрель		Май	Октябрь	Ноябрь
	18ч	15ч	16ч	15ч	15ч	15ч	15ч	14ч
Количество отказов на период	15	12	9	14	12	14	12	13

Продолжительность сменной работы – 1 часов.

Суммарное время восстановления отказов – 109 часов

Библиографический список

1. ГОСТ 23.002–78. Обеспечение износостойкости изделий. Трение изнашивание и смазка. Термины и определения. – М.: Изд-во Стандартов, 1985.
2. ГОСТ 27.002–83. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Изд-во Стандартов, 1985.

Таблица 1

**Показатели для расчета безотказности машин
по статистическим данным**

$-\lambda \cdot x$	$e^{-\lambda \cdot x}$						
0,00	1,000	0,4	0,670	0,80	0,449	3,00	0,050
0,01	0,990	0,41	0,664	0,81	0,445	3,10	0,045
0,02	0,980	0,42	0,657	0,82	0,440	3,20	0,041
0,03	0,970	0,43	0,650	0,83	0,436	3,30	0,037
0,04	0,961	0,44	0,644	0,84	0,432	3,40	0,033
0,05	0,951	0,45	0,638	0,85	0,427	3,50	0,030
0,06	0,942	0,46	0,631	0,86	0,423	3,60	0,027
0,07	0,932	0,47	0,625	0,87	0,419	3,70	0,025
0,08	0,932	0,48	0,619	0,88	0,415	3,80	0,022
0,09	0,914	0,49	0,613	0,89	0,411	3,90	0,020
0,1	0,905	0,50	0,606	0,90	0,407	4,00	0,0183
0,11	0,896	0,51	0,600	0,91	0,403	4,10	0,0166
0,12	0,887	0,52	0,595	0,92	0,399	4,20	0,0150
0,13	0,878	0,53	0,589	0,93	0,395	4,30	0,0136
0,14	0,869	0,54	0,583	0,94	0,391	4,40	0,0123
0,15	0,861	0,55	0,577	0,95	0,387	4,50	0,0111
0,16	0,852	0,56	0,571	0,96	0,383	4,60	0,0101
0,17	0,844	0,57	0,565	0,97	0,379	4,70	0,0091
0,18	0,835	0,58	0,560	0,98	0,375	4,80	0,0082
0,19	0,827	0,59	0,554	0,99	0,372	4,90	0,0074
0,2	0,819	0,6	0,549	1,00	0,369	5,00	0,0067
0,21	0,811	0,61	0,543	1,10	0,333	5,10	0,0061
0,22	0,803	0,62	0,538	1,20	0,302	5,20	0,0055
0,23	0,795	0,63	0,533	1,30	0,273	5,30	0,0050
0,24	0,787	0,64	0,527	1,40	0,247	5,40	0,0045
0,25	0,779	0,65	0,522	1,50	0,223	5,50	0,0041
0,26	0,771	0,66	0,517	1,60	0,202	5,60	0,0037
0,27	0,763	0,67	0,512	1,70	0,183	5,70	0,0033
0,28	0,756	0,68	0,507	1,80	0,165	5,80	0,0030
0,29	0,748	0,69	0,502	1,90	0,150	5,90	0,0027
0,3	0,741	0,70	0,497	2,00	0,135	6,00	0,0025
0,31	0,733	0,71	0,492	2,10	0,122	6,10	0,0022
0,32	0,726	0,72	0,487	2,20	0,111	6,20	0,0020
0,33	0,719	0,73	0,482	2,30	0,100	6,30	0,0018
0,34	0,712	0,74	0,477	2,40	0,091	6,40	0,0017
0,35	0,705	0,75	0,472	2,50	0,082	6,50	0,0015
0,36	0,698	0,76	0,468	2,60	0,074	6,60	0,0014
0,37	0,691	0,77	0,463	2,70	0,067	6,70	0,0012
0,38	0,684	0,78	0,458	2,80	0,061	6,80	0,0011
0,39	0,677	0,79	0,454	2,90	0,055	6,90	0,0010
						7,00	0,0009

Рекомендуемая литература

1. Р-03112199-0502-00 Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий.
2. РД 03-496-02 Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах.
3. РД 03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ.
4. Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 N 63.

Оглавление

Введение.....	3
Общие методические указания к практическим работам.....	4
1. Теоретические основы оценки аварийных рисков.....	5
1.1. Основные понятия аварийных рисков.....	5
1.2. Факторы негативного воздействия источников техногенных чрезвычайных ситуаций на человека и среду обитания.....	20
1.3. Наиболее часто реализуемые аварийные ситуации на объектах экономики и их последствия.....	29
2. Практические работы.....	56
Практическая работа 1. Оценка риска при аварии со взрывами.....	56
Практическая работа 2. Оценка риска травмирования людей при авариях, сопровождающихся пожарами.....	63
Практическая работа 3. Оценка пожарных рисков на основе статистической информации.....	69
Практическая работа 4. Расчет индивидуального пожарного риска для работника при возгорании производственных помещений.....	78
Практическая работа 5. Оценка риска и прогнозирование аварии на химически опасном объекте.....	86
Практическая работа 6. Прогнозирование волны прорыва при авариях на гидротехнических сооружениях.....	97
Практическая работа 7. Виды аварий на угольных разрезах.....	106
Практическая работа 8. Оценка социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий.....	111
Практическая работа 9. Оценка ущерба от аварий на опасных производственных объектах.....	124
Практическая работа 10. Определение показателей безотказности машин по статистическим данным.....	142
Библиографический список.....	151
Приложения.....	152

Учебное издание

**Тимофеева
Светлана Семеновна**

**МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ОЦЕНКИ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ**

Практикум

Редактор