Министерство образования Российской Федерации

Пензенская государственная
архитектурно-строительная академия

А.Г.Ветошкин, Г.П.Разживина

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебное пособие

Пенза 2002

УДК 614.8.084
ББК 68.9

Ветошкин А.Г., Разживина Г.П. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. – Пенза: Изд-во Пенз. госуд. архит.-строит. академии, 2002. – с.: илл., библиогр.

Рассмотрена концепция производственной безопасности как составной части безопасности жизнедеятельности. Приведены основные термины и определения производственной безопасности, указаны основные опасности технических систем, обоснована актуальность проблемы безопасности с точки зрения ее социально-экономической значимости.

Проанализированы и рассмотрены основные методологические подходы анализа и оценки производственной безопасности, включая вероятностные и детерминированные оценки безопасности. Изложенный материал иллюстрируется конкретными примерами по оценке и расчету промышленной безопасности оборудования и технических систем.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Инженерная экология» ПГАСА и предназначено в качестве дополнительной учебной литературы при изучении разделов дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» студентами всех специальностей. Пособие может быть также использовано при изучении дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для студентов специальности 330200 «Инженерная защита окружающей среды».

Рецензенты:

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности» Пензенского государственного университета (зав. кафедрой к.т.н., доцент, член-корр. МАНЭБ Симакин В.И.)

Доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана труда» Московского государственного строительного университета Коптев Д.В.

Издательство Пензенской государственной архитектурно-строительной академии

А.Г.Ветошкин, Г.П.Разживина

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1.Термины и определения
2. Актуальность проблем техногенной безопасности
2.1. Негативные факторы техносферы
2.2. Опасности технических систем
2.3. Социально-экономические аспекты техногенной безопасности
3.Методы анализа и оценки промышленной безопасности
3.1. Критерии безопасности
3.2.Методические подходы к оценке промышленной безопасности
4.Оценка безопасности на основе теории риска
4.1.Понятие риска
4.2.Управление риском
4.3.Классификация видов риска
5.Методы анализа и оценки риска
5.1. Методология анализа и оценки риска
5.2.Качественные методы анализа опасностей и риска
5.3.Логико-графические методы анализа опасностей и риска
5.4.Количественные методы анализа опасностей и риска
5.5.Критерии приемлемого риска
6.Применение теории риска
6.1.Оценка риска технической системы
6.2.Применение теории риска в технических системах строительной отрасли
6.3.Определение риска воздействия опасных факторов пожара (ОФП)
6.4.Ионизирующее излучение как источник риска
6.5.О профессиональном риске в охране труда
6.6. Страхование промышленных рисков
7.Оценка и управление промышленной безопасностью
7.1.Декларирование безопасности
7.2.Категорирование помещений, зданий, сооружений, установок по пожаровзрывоопасности

7.3.Классификация взрывопожароопасных производственных зон
7.4.Категорирование технологических блоков и производств по степени взрывоопасности
7.5.Промышленная взрывобезопасность
7.6. Мероприятия по снижению уровня взрывоопасности производств
7.7.Примеры оценки пожаровзрывоопасности производственных объектов
Приложения:
Приложение 1. Показатели безопасности промышленного изделия
Приложение 2. Оценка риска аварий при хранении нефтепродуктов
Приложение 3. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов
Приложение 4. Оценка риска при декларировании безопасности опасных производственных объектов
Приложение 5.Физико-химические свойства веществ
Приложение 6. Экспериментальные скорости испарения некоторых ЛВЖ
Приложение 7. Максимально безопасное избыточное давление в помещении при взрыве для различных строительных конструкций
Приложение 8. Степень разрушения коммунально-энергетических и технологических сетей
Литература

ВВЕДЕНИЕ

Государственная политика в области экологической и промышленной безопасности и новые концепции обеспечения безопасности и безаварийности производственных процессов на объектах экономики, диктуемые Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ, Федеральным законом "О радиационной безопасности населения" от 09.01.96 г. №3-ФЗ, Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.99 г. №52-ФЗ, Федеральным законом "Об использовании атомной энергии" от 21.11.95 г. №170-ФЗ, Законом РСФСР "Об охране окружающей природной среды" от 19.12.91 г. №2060-1, предусматривают, в первую очередь, объективную оценку опасностей и позволяют наметить пути борьбы с ними.

Экологическая и техногенная безопасность – состояние действительности, при котором с определенной вероятностью исключено проявление опасности. Опасная ситуация возникает при нахождении человека в опасной зоне, т.е. в пространстве, где постоянно, периодически или эпизодически возникают опасности, обусловленные опасными или вредными факторами. Опасные ситуации реализуются вследствие совокупности причин, обусловливающих воздействие опасных или (и) вредных факторов на человека, что приводит к постепенному или мгновенному повреждению его здоровья.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это совокупность событий и опасностей, внезапно нарушающих сложившиеся условия жизнедеятельности, создающих угрозу жизни и здоровью людей, среде их обитания, элементам техносферы. Техногенная чрезвычайная ситуация (техногенная ЧС) - состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации 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.

Каждую чрезвычайную ситуацию можно рассматривать как крупномасштабную опасную ситуацию, создающую угрозу одновременно большому числу людей и объектам техносферы. Стадии зарождения и развития чрезвычайной ситуации протекают, как правило, скрытно и связаны с накоплением разрушительного потенциала. На кульминационной стадии образуется множество опасных и вредных факторов, объединяемых в один или несколько поражающих факторов.

Оценка опасности различных производственных объектов заключается в определении возникновения возможных чрезвычайных ситуаций, разрушительных воздействий пожаров и взрывов на эти объекты, а также воздействия опасных факторов пожаров и взрывов на людей. Оценка этих опасных воздействий на стадии проектирования объектов осуществляется на основе нормативных требований, разработанных с учетом наиболее опасных условий протекания чрезвычайных ситуаций и проявления их негативных факто-

ров, утечек и проливов опасных химических веществ, пожаров и взрывов, т.е. с учетом аварийной ситуации.

Как естественные, так и техногенные опасности носят потенциальный, т.е. скрытый характер. Количественной мерой опасности является риск, т.е. частота реализации опасности. Риск выражает возможную опасность, вероятность нежелательного события.

Оценка риска включает в себя анализ частоты, анализ последствий и их сочетание. В случае, когда последствия неизвестны, то под риском понимают вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий. Техногенный риск включает как вероятность чрезвычайной ситуации, так и величину ее последствий, оцениваемых величиной ущерба.

Под термином “опасность” понимается ситуация в окружающей среде, в которой при определённых условиях возможно возникновение нежелательных событий или процессов (опасных факторов), воздействие которых на человека и окружающую среду может привести к одному или совокупности из следующих последствий:

- отклонение здоровья человека от среднестатистического значения;

- ухудшение состояния окружающей среды.

Безопасность – состояние защищённости отдельных лиц, общества и природной среды от чрезмерной опасности.

В качестве единиц измерения безопасности предлагается использовать показатели, характеризующие состояние здоровья человека и состояние (качество) окружающей среды. Соответственно, целью процесса обеспечения безопасности является достижение максимально благоприятных показателей здоровья человека и высокого качества окружающей среды.

1.ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Авария – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

Анализ риска – есть процесс идентификации опасностей и оценки риска.

Анализ риска аварии — процесс идентификации опасностей и оценки риска аварии на опасном производственном объекте для отдельных лиц или групп людей, имущества или окружающей природной среды.

Безопасность – состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях - состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

Взрыв - быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением значительного количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная привести или приводящая к возникновению техногенной чрезвычайной ситуации.

Запроектная промышленная авария - промышленная авария, вызываемая неучитываемыми для проектных аварий исходными состояниями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности и реализациями ошибочных решений персонала, приведшим к тяжелым последствиям.

Идентификация опасностей аварии — процесс выявления и признания, что опасности аварии на опасном производственном объекте существуют, и определения их характеристик.

Инцидент – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима технологического процесса, нарушение федеральных законов и иных нормативных правовых актов, а также нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте.

Источник техногенной чрезвычайной ситуации - опасное техногенное происшествие, в результате которого на объекте, определенной территории или акватории произошла техногенная чрезвычайная ситуация.

Катастрофа – происшествие в технической системе, сопровождающееся гибелью или пропажей без вести людей.

Критерии безопасности техносферы – ограничения, вводимые на концентрации веществ и потоки энергий в жизненном пространстве.

Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях - принятие и соблюдение правовых норм, выполнение эколого-защитных, отраслевых или ведомственных требований и правил, а также проведение комплекса организационных, экономических, эколого-защитных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических и специальных мероприятий, направленных на обеспечение защиты населения, объектов народного хозяйства и иного назначения, окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

Обеспечение промышленной безопасности в чрезвычайных ситуациях - принятие и соблюдение правовых норм, выполнение эколого-защитных, отраслевых или ведомственных требований и правил, а также проведение комплекса организационных, технологических и инженерно-технических мероприятий, направленных на предотвращение промышленных аварий и катастроф в зонах чрезвычайной ситуации.

Опасность – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям.

Опасность аварии — угроза, возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие аварии на опасном производственном объекте.

Опасные вещества — воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные, высокотоксичные вещества и вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды.

Опасный производственный объект – объекты, на которых получаются, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества; используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 градусов Цельсия; используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры; получаются расплавы черных и цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов; ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

Особо опасное производство – участок, установка, цех, хранилище, склад, станция или другое производство, на котором единовременно используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют потенциально опасные вещества.

Отказ – чрезвычайное происшествие, заключающееся в нарушении работоспособности компонента системы «человек-машина-окружающая среда».

Оценка риска аварии — процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварии для здоровья человека, имущества и (или) окружающей природной среды.

Пожаровзрывоопасный объект - объект, на котором производят, используют, перерабатывают, хранят или транспортируют легковоспламеняющиеся и пожаровзрывоопасные вещества, создающие реальную угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации.

Потенциально опасный объект – объект, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации.

Приемлемый риск аварии — риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений.

Производственная среда – пространство, в котором совершается трудовая деятельность человека.

Происшествие – событие, состоящее из негативного воздействия с причинением ущерба людским, природным или материальным ресурсам.

Промышленная авария - авария на промышленном объекте, в технической системе или на промышленной установке.

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

Промышленная безопасность в чрезвычайных ситуациях - состояние защищенности населения, производственного персонала, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей, возникающих при промышленных авариях и катастрофах в зонах чрезвычайной ситуации.

Промышленная катастрофа - крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей либо разрушения и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей природной среде.

Промышленный объект, подлежащий декларированию безопасности – субъект предпринимательской деятельности (организация), имеющий в своем составе одно или несколько особо опасных производств, расположенных на единой площадке.

Риск – вероятность реализации негативного воздействия в зоне пребывания человека.

Риск аварии — мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий.

Риск возникновения чрезвычайной ситуации - вероятность или частота возникновения источника чрезвычайной ситуации, определяемая соответствующими показателями риска.

Степень риска – это сочетание частоты (или вероятности) и последствий определенного опасного события.

Техногенная опасность - состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной чрезвычайной ситуации на человека и окружающую среду при его

возникновении, либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов.

Техногенная чрезвычайная ситуация - состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации 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.

Техносфера – регион биосферы в прошлом, преобразованный людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия своим материальным и социально-экономическим потребностям.

Требования промышленной безопасности — условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в федеральных законах и иных нормативных правовых актах Российской Федерации, а также в нормативных технических документах, которые принимаются в установленном порядке и соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность.

Ущерб от аварии — потери (убытки) в производственной и непроизводственной сфере жизнедеятельности человека, вред окружающей природной среде, причиненные в результате аварии на опасном производственном объекте и исчисляемые в денежном эквиваленте.

Чрезвычайное происшествие – нежелательное, незапланированное, непреднамеренное событие в системе «человек-машина-окружающая среда», нарушающее обычный ход вещей и происходящее в относительно короткий отрезок времени.

Чрезвычайная ситуация – состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации 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.

2. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Негативные факторы техносферы

Актуальность проблем безопасности жизнедеятельности (БЖД) вызвана тем, что современный человек живет в мире опасности со стороны природных, антропогенных, технических, экологических, социальных и др. факторов.

Статистические данные говорят о все нарастающем негативном воздействии на человека и природную среду опасных и вредных факторов техносферы, свидетельствуют об актуальности проблем, связанных с обеспечением БЖД и сохранением окружающей среды на современном этапе развития общества.

В окружающем нас мире возникли новые условия взаимодействия живой и неживой материи: взаимодействие человека с созданной им техносферой и взаимодействие техносферы с биосферой (рис.2.1).

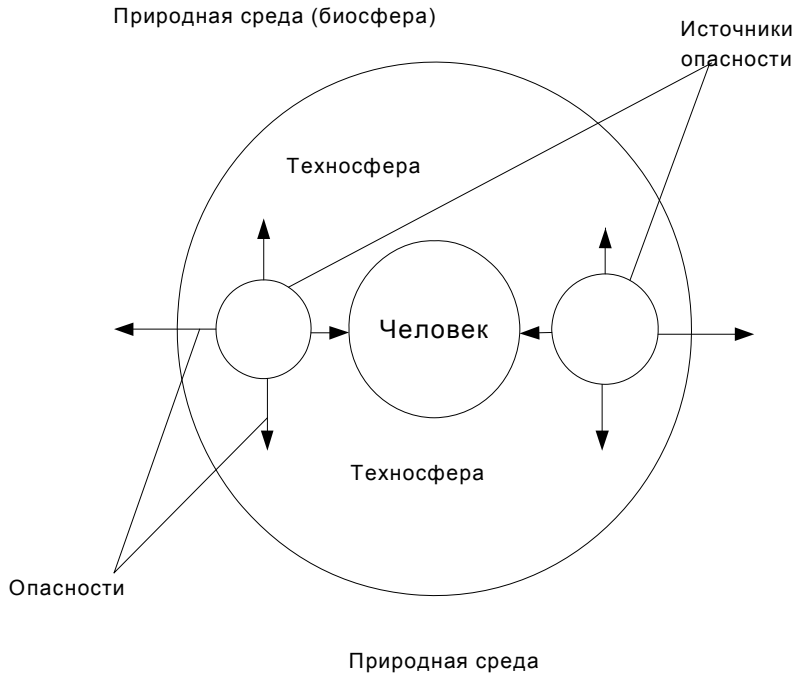


Рис.2.1 Системы “человек – техносфера” и “техносфера – природная среда”

В настоящее время сформировалась новая область знаний – экология техносферы, где главными в действующими факторами являются человек и созданная им техносфера.

Аксиома о потенциальной опасности является основным постулатом в БЖД. Она гласит: «потенциальная опасность является неотъемлемым свойством процесса взаимодействия человека со средой обитания на всех стадиях его жизненного цикла». Любая деятельность, как условие существования человеческого общества, потенциально опасна. Аксиома о потенциальной опасности говорит о том, что все действия человека и все компоненты среды обитания, прежде всего технические средства и технологии, кроме прочих позитивных свойств и результатов обладают способностью генерировать опасные и вредные факторы.

Перечень негативных факторов значителен и насчитывает более 100 видов. Ввиду многообразия факторов опасности разработана их классификация по источникам опасности.

Техногенные факторы обусловлены хозяйственной деятельностью людей: чрезмерными выбросами и сбросами в окружающую среду отходов хозяйственной деятельности в условиях её нормального функционирования и в аварийных ситуациях; необоснованными отчуждениями территорий под хозяйственную деятельность; чрезмерным вовлечением в хозяйственный оборот природных ресурсов; иными, связанными с хозяйственной деятельностью подобными негативными процессами, актами или решениями (рис.2.2).

По природе происхождения опасности бывают природными (естественными), техногенными, антропогенными, экологическими и смешанными. По времени проявления отрицательных последствий опасности делятся на импульсивные и кумулятивные. По локализации опасности делятся на опасности, связанные с литосферой, гидросферой, атмосферой, космосом. По вызываемым последствиям опасности делятся на заболевания, травмы, летальные исходы, пожары, взрывы, аварии, загрязнения окружающей среды. По приносимому ущербу опасности делятся на социальные, технические, экологические и экономические.

Таким образом, термин “опасность” описывает возможность осуществления некоторых условий технического, природного и социального характера, при наличии которых могут наступить неблагоприятные события и процессы, например, аварии на промышленных предприятиях, природные катастрофы или бедствия, экономические или социальные кризисы.

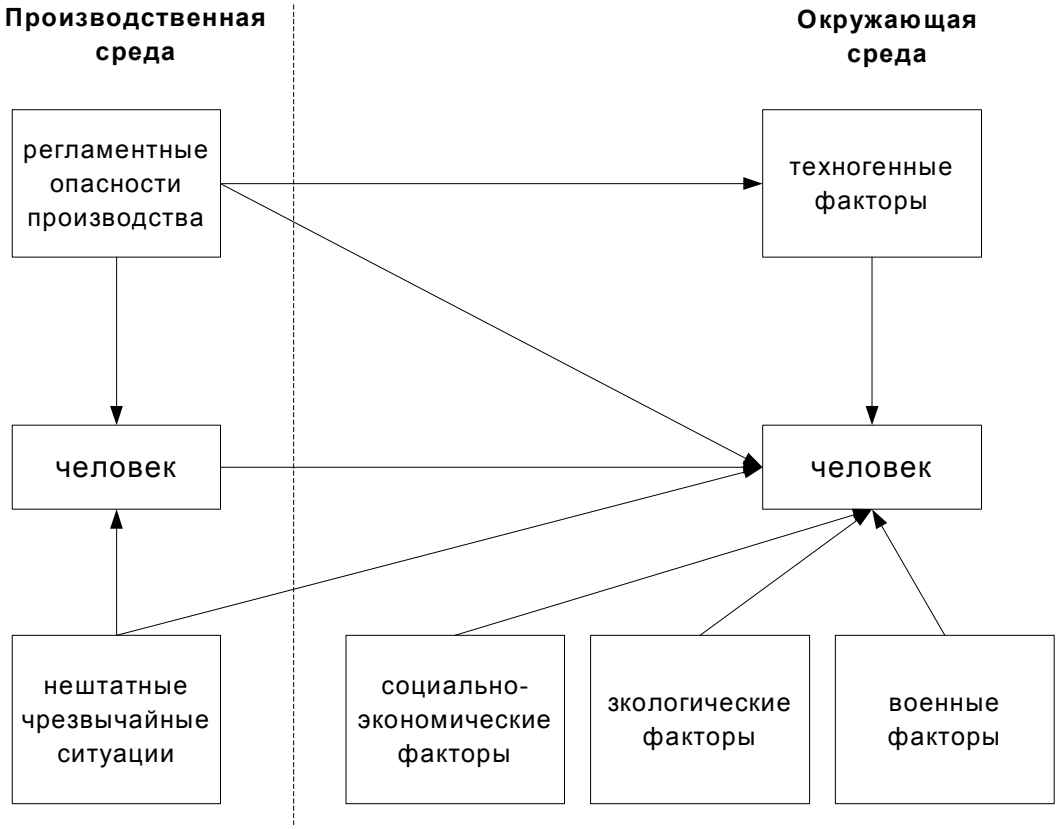


Рис.2.2. Классификация опасных факторов по источникам опасности

Следовательно, “опасность” – это ситуация, постоянно присутствующая в окружающей и производственной среде и способная при определённых условиях привести к реализации нежелательного события – возникновению опасного фактора. Соответственно реализация опасности – это обычно случайное явление, и возникновение опасного фактора характеризуется вероятностью явления.

В процессе бытовой и производственной деятельности человеческое общество неизбежно влияет на окружающую среду, которая немедленно или через определенный промежуток времени реагирует на это влияние и оказывает обратное положительное, а чаще отрицательное действие.

Воздействие человека на биосферу тесно связано со все возрастающими темпами научно-технического прогресса и необходимостью решения возникающих социально-экономических задач.

Воздействие человека на природу определяется тремя обстоятельствами:

1) синтезом множества (более миллиона) веществ, отсутствующих в естественных условиях и обладающих качествами, не свойственными природным соединениям;

2) строительством широкой сети газо- и нефтепроводов, шоссейных и железных дорог, что наряду со специализацией производства привело к массовому транспортированию разнообразного сырья из районов добычи в районы переработки, а также к перераспределению и рассеиванию загрязнений. Рассеиванию загрязняющих веществ во многом способствовало и задымление атмосферы выбросами ТЭЦ, металлургических, химических, нефтеперегонных и других заводов, автомобильного и авиационного транспорта;

3) интенсификацией производства сельскохозяйственной продукции, потребовавшей массового применения удобрений, гербицидов и пестицидов, отрицательное побочное воздействие которых на окружающую среду выявилось лишь спустя длительное время.

В современных условиях общественное воспроизводство требует вовлечения в хозяйственный оборот больших объемов сырья и энергии.

Сейчас уже не вызывает сомнения включение в разряд загрязняющих агентов тепла, шума и т.д. Техногенные загрязнения окружающей среды можно классифицировать следующим образом (табл.2.1).

Таблица 2.1

Техногенные загрязнения окружающей среды

Загрязнение	Определение
1. Механическое	Засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без химико-физических последствий (например, мусором)
2. Химическое	Изменение химических свойств среды, оказывающих отрицательное воздействие на экосистемы и технологические устройства
3. Физическое	Изменение физических параметров среды: температурно-энергетических (тепловое или термальное), волновых (световое, шумовое, электромагнитное), радиационных (радиационное или радиоактивное) и т.п.
3.1. Тепловое (термальное)	Повышение температуры среды, главным образом в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и воды; может возникать и как вторичный результат изменения химического состава среды
3.2. Световое	Нарушение естественной освещенности местности в резуль-

	тате действия искусственных источников света; может приводить к аномалиям в жизни растений и животных
3.3. Шумовое	Увеличение интенсивности шума сверх природного уровня; у человека приводит к повышению утомляемости, снижению умственной активности и при достижении 90-100 дБ к постепенной потере слуха
3.4. Электромагнитное	Изменение электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радио и телевидения, работы некоторых промышленных установок и др.) приводит к глобальным и местным географическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах
4. Радиационное	Превышение естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ
5. Биологическое	Проникание в экосистемы и технологические устройства видов животных и растений, чуждых данным сообществам и устройствам
5.1. Биотическое	Распространение определенных, как правило, нежелательных с точки зрения людей биогенных веществ (выделений, мертвых тел и др.) на территории, где они ранее не наблюдались
5.2. Микробиологическое	а) Появление необычайно большого количества микроорганизмов, связанное с их массовым размножением на антропогенных субстратах или в средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека б) Приобретение ранее безвредной формой микроорганизмов патогенных свойств или способности подавлять другие организмы в сообществах

Все перечисленные виды загрязнений взаимосвязаны, и каждый из них может явиться толчком для возникновения других видов загрязнения.

Промышленные предприятия, объекты энергетики, связи и транспорта являются основными источниками энергетического загрязнения промышленных регионов, городской среды, жилищ и природных зон. К энергетическим загрязнениям относятся вибрационное и акустическое воздействия, электромагнитные поля и излучения, воздействия радионуклидов и ионизирующих излучений.

Источниками вибрации в городской среде является технологическое оборудование, рельсовый транспорт, строительные машины и тяжелый автотранспорт.

Шум в городской среде создается транспортными средствами, промышленным оборудованием, санитарно-техническими установками и устройствами.

Основными источниками электромагнитных полей (ЭМП) радиочастот являются радиотехнические объекты, телевизионные и радиолокационные станции, термические цехи и участки.

Воздействие ЭМП промышленной частоты связано с высоковольтными линиями электропередач, источниками постоянных магнитных полей, применяемых на промышленных предприятиях. В быту источниками ЭМП и излучений являются телевизоры, дисплеи ПЭВМ, печи СВЧ и другие электротехнические устройства.

Рассеивание в атмосфере радионуклидов, содержащихся в выбросах, приводит к формированию зон загрязнений около источника выбросов.

Чрезвычайные ситуации (ЧС) возникают как при стихийных явлениях природного характера, так и при техногенных авариях. В наибольшей степени аварийность свойственна угольной, горнорудной, химической, нефтегазовой и металлургической отраслям промышленности, транспорту.

Возникновение ЧС 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.).

ЧС возникают также в результате нерегламентированного хранения и транспортирования взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся жидкостей, химических и радиоактивных веществ, нагретых жидкостей. Следствием этих нарушений являются взрывы, пожары, проливы химически активных жидкостей, выбросы газовых смесей.

Основными причинами крупных техногенных аварий являются:

- отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации;
- ошибочные действия операторов технических систем;
- концентрации различных производств в промышленных зонах;
- высокий энергетический уровень технических систем;
- внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта и др.

Анализ совокупности негативных факторов, действующих в техносфере, показывает, что приоритетное влияние имеют антропогенные негативные воздействия, среди которых преобладают техногенные. Они сформировались в результате преобразующей деятельности человека и изменений в биосферных процессах, обусловленных этой деятельностью.

2.2. Опасности технических систем

Многие машины и конструкции следует рассматривать как источники повышенной опасности для людей и окружающей среды. Это неизбежный побочный результат научно-технического прогресса. Наблюдаются неуклонное увеличение скоростей на транспорте, повышение добычи энерговооруженности в промышленности, создаются уникальные по размерам и мощности комплексы для производства электрической энергии, для добычи и транспортирования нефти и газа. Все это приводит к постановке проблемы обеспечения безопасности.

Значительное место в проблеме безопасности занимает безопасность при нормальной эксплуатации. Когда возникновение опасности для жизни и здоровья людей и для окружающей среды вызвано нарушениями работоспособности объекта, т.е. его отказом, необходимо особое внимание уделять обеспечению безотказности. Такие отказы должны

быть исключены посредством технических и организационных мер, либо вероятность их возникновения в течение нормативного срока службы должна быть снижена до минимума.

Отказы, приводящие к тяжелым последствиям, отнесены к категории “критических”. К авариям относятся все отказы, наступление которых связано с угрозой для людей и окружающей среды, а также с серьезным экономическим и моральным ущербом.

Аварии могут быть связаны как с исключительными воздействиями (ударными нагрузками, ураганами, наводнениями, пожарами), так и с неблагоприятным сочетанием обычных нагрузок с весьма малой вероятностью появления. Исходной причиной аварии могут служить крупные ошибки, допущенные при проектировании, расчете, изготовлении, монтаже, эксплуатации и техническом обслуживании, а также сочетания этих ошибок с неблагоприятными внешними условиями, не зависящими от технического персонала.

Современные газопроводы, имеющие диаметр до 1500 мм, функционируют при избыточном давлении газа до 10 МПа и скорости газа до 20 м/с. При разрыве такого трубопровода выделится большое количество энергии, а выброс газа может вызвать взрывы и пожары:

$P \cdot V_{\tau}=10 \cdot 10^{6} \cdot 20 \cdot 0{,}785 \cdot (1{,}5)^{2}=3{,}5 \cdot 10^{8}$ Вт $=3{,}5 \cdot 10^{5}$ кВт $=350\ 000$ кВт.

Изучение обстоятельств аварийности и травматизма в отраслях показало, что наибольший вклад приносят также источники опасности, как электросиловое оборудование, средства хранения сжатых газов, токсичных и легковоспламеняющихся жидкостей, подвижное технологическое оборудование.

Наиболее типичной причинной целью происшествия оказались следующие предпосылки: ошибка человека или отказ технологического оборудования, или недопустимое внешнее воздействие, случайное появление опасного фактора в производственной зоне; неисправность (или отсутствие) предусмотренных на этот случай средств защиты или неточные действия людей в данных условиях; воздействие опасных факторов на незащищенные элементы оборудования, человека или окружающую их среду.

Доля исходных предпосылок, вызванных ошибочными и несанкционированными действиями человека, составляет 50…80 %, тогда как технические предпосылки – 15…25 %.

Среди факторов, непосредственно приводящих к аварийности и травматизму, выделяются слабые практические навыки работающих в нестандартных ситуациях, неумение правильно оценивать обстановку.

Повседневная деятельность человека потенциально опасна, т.к. связана с различными процессами, связанными с использованием химической, электрической и других видов энергии.

Опасность появляется в результате неконтролируемого выхода энергии, накопленной в оборудовании и материалах, непосредственно в человеке и окружающей среде.

Возникновение происшествий – следствие появления и развития причинной цепи предпосылок, приводящих к потере управления трудовым процессом, нежелательному высвобождению используемой энергии и воздействия ее на людей, оборудование и окружающую среду.

Инициаторами и составными звеньями причинной цепи происшествия являются ошибочные и несанкционированные действия людей, неисправности и отказы используемой техники, а также нерасчетные (неожиданные и превышающие допустимые пределы) внешние факторы среды обитания.

Объектом исследования и совершенствования безопасности являются системы “человек-машина-среда обитания”, а предметом изучения безопасности являются объективные закономерности возникновения и предусмотрения происшествий при функционировании таких систем.

2.3. Социально-экономические аспекты техногенной безопасности

Подготовка экономики к функционированию в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера является специальной экономической задачей, решение которой находится на стыке как чисто экономических проблем, так и проблем безопасности страны.

Чрезвычайные ситуации (ЧС) в сфере экономики следует рассматриватьс позиций экономической безопасности. Их причины могут быть самыми разнообразными. В любом случае, независимо от первопричины эти ситуации обязательно имеют экономические последствия, поскольку они требуют мобилизации финансовых и материальных ресурсов, ведут к прекращению или дезорганизации производства, в ряде случаев требуют эвакуации населения.

Практически всегда чрезвычайные ситуации оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду, поэтому могут быть отнесены и к проблемам экологической безопасности.

Для создания благоприятного инвестиционного климата нужны предварительные значительные вложения средств в повышение безаварийности производства и смягчения последствий аварий и катастроф.

По данным Генерального секретаря ООН, за последние 30 лет ущерб, нанесенный техногенными катастрофами, увеличился в три раза и достигает 200 млрд. долл. США в год. В России совокупный годовой материальный ущерб от техногенных аварий, включая затраты на их ликвидацию, превышает 40 млрд. руб.

В Российской Федерации 45 тысяч опасных объектов различного типа и разной формы собственности. Из них только в промышленности более 8000 взрыво- и пожароопасных объектов. На территории РФ эксплуатируется более 30 тысяч водохранилищ и несколько сотен накопителей промышленных стоков и отходов. Имеется около 60 крупных водохранилищ емкостью 1 млрд. м^3. Остро стоит проблема обеспечения безопасности

гидротехнических сооружений. Эти сооружения на 200 водохранилищах и 56 накопителях отходов эксплуатируются без ремонта более 50 лет и находятся в аварийном состоянии.

В России эксплуатируется около 150 тыс. км магистральных газопроводов, 62 тыс. км нефтепроводов и 25 тыс. км продуктопроводов. Общая протяженность трубопроводов составляет более 220 тыс. км. Ежегодно на них происходит 40-50 тыс. аварий.

В зонах непосредственной угрозы жизни и здоровью людей в случае возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций проживает около 80 млн. человек, т.е. 55% населения страны. Численность городского населения составляет почти 75% общей численности населения страны, и только 15% граждан проживают на территории, на которой нет опасных объектов. Ежегодно от чрезвычайных ситуаций в городах погибают 800-1000 человек.

Наибольшую опасность в техногенной сфере представляют транспортные аварии при перевозке опасных грузов, аварии с выбросом химически и биологически опасных веществ, взрывы и пожары, гидродинамические аварии, аварии на электроэнергетических системах и очистных сооружениях.

В 1998 году на территории РФ произошло 1527 чрезвычайных ситуаций, в том числе от общего количества: локальных – 53,8%, местных – 32%, территориальных – 13,4%, региональных – 0,4%, федеральных – 0,4%, трансграничных – 0%.

В результате чрезвычайных ситуаций пострадало 112619 человек, из которых 1275 человек погибло. При перевозке опасных грузов на транспорте в результате аварий может пострадать от 10 до 100 тыс. человек. На химически опасных объектах за 1998 год произошла 91 авария с выбросом опасных химических веществ в окружающую среду. Пострадало 93 человека, погибло 10 человек. За 1998 год произошло 4 аварии на гидротехнических сооружениях.

Материальный ущерб, причиненный ЧС, составил около 20,5 млрд. рублей, в том числе от ЧС техногенного характера 2,06 млрд. руб. (10%), ЧС природного характера – 12,2 млрд. руб. (59%), биолого-социальных ЧС – 6,24 млрд. руб. (31%).

От аварий на опасных объектах ежегодно в России получают вред 200 тыс человек, а погибает в результате аварий и катастроф, включая дорожно-транспортные происшествия, более 50 тыс. человек. Общий экономический ущерб от ЧС в год достигает 6-7% валового внутреннего продукта (ВВП) страны.

За последние 30 лет в нашей стране пострадало более 10 млн. человек, из них погибло более 600 тыс. человек. Суммарный экономический ущерб за этот период сопоставим со среднегодовым ВВП России. Средний годовой рост социальных и экономических потерь от природных и техногенных ЧС за это период составил: по числу погибших – 4,3%, пострадавших – 8,6% и материальному ущербу – 10,4%.

Для создания надежной основы перехода РФ к устойчивому развитию необходимо предпринимать более интенсивные усилия в области снижения рисков ЧС.

Возможность крупных техногенных катастроф в промышленных центрах России в настоящее время реальна как никогда. Возрастающая концентрация запасов горючих, радиоактивных, токсичных и взрывчатых веществ в непосредственной близости от жилой зоны поселков и городов, возрастающие масштабы социальной напряженности, отсутствие достаточных сил и эффективных систем реагирования на ЧС – все это таит в себе опасность катастроф регионального и трансграничного масштабов.

Статистика свидетельствует, что ЧС техногенного характера возникают не только в силу нарушения технологического процесса производства, но и в значительной мере не случайно, под воздействием целого ряда природных процессов, которые определяют степень потенциальной опасности возникновения ЧС.

Средний уровень индивидуального риска для населения России на два порядка превышает допустимый уровень, принятый в развитых странах мирпа, однако условия для анализа и управления риском ЧС, перехода к нормированию допустимого риска и снижению на этой основе индивидуального риска в стране пока не созданы. Защищенность населения России от ЧС природного и техногенного происхождения характеризуется также низкими значениями показателей.

Сохраняющаяся тенденция ежегодного роста количества и масштабов последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий заставляет искать новые решения проблемы защиты населения и территорий от ЧС.

В силу этого перед современным естествознанием встала актуальная задача, обусловленная социальным заказом, - формирование системы знаний о закономерностях обеспечения защищенности человека, социумов и окружающей их среды от опасностей.

В условиях ограниченности экономических ресурсов, независимо от их величины, большое значение приобретает задача оценки их эффективности и оптимальности в их распределении на снижение риска от того или иного вида опасности. Имеющиеся ограниченные ресурсы должны быть в первую очередь направлены на снижение риска и обеспечение безопасности человека, а не на оплату огромных расходов при покрытии причиненного ущерба. В силу этого решение проблем защиты населения и территорий от ЧС техногенного и природного характера сегодня во многом определяется экономическими законами.

Экономический механизм обеспечения промышленной и экологической безопасности определен соответствующей нормативной правовой базой. Он основывается на федеральных законах: «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «Об отходах производства и потребления», «О безопасности гидротехнических сооружений, «Об использовании атомной энергии», «Об охране окружающей природной среды» и др.

Обеспечение защиты населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера является одной из важнейших задач государственной политики РФ в области национальной безопасности, обеспечения развития страны. В этой связи главная задача в области обеспечения техногенной и экологической безопасности – это создание новой

идеологии противодействия техногенным и экологическим катастрофам и разработка на ее основе государственной стратегии в области снижения рисков и смягчения последствий ЧС, то есть осуществление комплекса мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения ЧС, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь.

Целью государственной политики в области снижения рисков и смягчения последствий ЧС природного и техногенного характера должно стать обеспечение гарантированного уровня безопасности личности, общества и окружающей среды в пределах показателей приемлемого риска, критерии (нормативы) которых устанавливаются для соответствующего периода социально-экономического развития страны с учетом мирового опыта в данной области.

3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Критерии безопасности

Безопасность – состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений.

Можно сказать, что безопасность – состояние действительности, при котором с определенной вероятностью исключено проявление опасности, т.е. состояние защищённости отдельных лиц, общества и природной среды от чрезмерной опасности.

В качестве единиц измерения безопасности предлагается использовать показатели, характеризующие состояние техносферы, здоровья человека и состояние (качество) окружающей среды. Соответственно, целью процесса обеспечения безопасности является достижение максимально благоприятных показателей производственной среды, здоровья человека и высокого качества окружающей среды.

Взаимодействие человека со средой обитания может быть позитивным или негативным и характер взаимодействия определяют потоки веществ, энергий и информации. В условиях техносферы негативные воздействия обусловлены элементами техносферы (машины, сооружения и т.п.) и действиями человека. Изменяя величину любого потока массы, энергии, информации, действий человека от минимально значимой до максимально возможной, можно пройти ряд характерных состояний взаимодействия в системе «человек - среда обитания»:

- комфортное (оптимальное), когда потоки соответствуют оптимальным условиям взаимодействия;

- допустимое, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека;

- опасное, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном воздействии заболевания, и (или) приводят к деградации природной среды;

- чрезвычайно опасное, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать разрушения в природной среде.

Критерии безопасности техносферы – ограничения, вводимые на концентрации веществ и потоки энергий в жизненном пространстве.

Концентрации веществ регламентируют, исходя из предельно допустимых значений концентраций этих веществ в жизненном пространстве:

$$C_i < \text{ПДК}_i \text{ или } \sum_i^n C_i/\text{ПДК}_i < 1,$$

где C_i – концентрация i-го вещества в жизненном пространстве; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i-го вещества; n – число веществ.

Для потоков энергии допустимые значения устанавливаются соотношениями:

$$I_i < \text{ПДУ}_i \quad \text{или} \quad \sum_i^n I_i < \text{ПДУ}_i,$$

где I_i - интенсивность i-го потока энергии; ПДУ_i - предельно допустимая интенсивность i-го потока энергии.

Конкретные значения ПДК и ПДУ устанавливаются нормативными актами Государственной системы санитарно-эпидемиологического нормирования.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах регламентированы класс опасности и допустимые концентрации загрязняющих веществ. При одновременном присутствии в атмосферном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленным действием, их концентрации должны удовлетворять условию:

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \ldots + C_n/\text{ПДК}_n < 1.$$

Предельно допустимые выбросы (сбросы) и предельно допустимые излучения энергии источниками загрязнения среды обитания являются одновременно критериями экологичности источника воздействия на среду обитания. Соблюдение этих критериев гарантирует реализацию условий безопасности жизненного пространства.

3.2. Методические подходы к оценке промышленной безопасности

До последнего времени анализ безопасности проводился на основе методологии абсолютной безопасности, предполагающей, что все расчеты должны проводится на основе наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок, внешних воздействий и т.п. детерминистическими методами. В рамках такого подхода считалось, что наличие запаса, например прочности, гарантирует безопасность объекта. При этом игнорировалось маловероятное, но возможное сочетание неблагоприятных факторов, которое могло привести к аварии. Техногенные катастрофы показали, что концепция абсолютной безопасности неадекватна вероятностной природе аварий, порождаемых как раз маловероятным фактором. Можно ожидать, что по мере увеличения срока эксплуатации сложных объектов уже нельзя пренебрегать развитием аварийных ситуаций, ассоциируемых с частотой возникновения в 10^{-3}- 10^{-4} год$^{-1}$, т.к. в силу вероятностного закона больших чисел, наступление нежелательного события (аварии) для таких систем становится вполне вероятным. Это обстоятельство привело к смене концепции абсолютной безопасности на современную методологию приемлемого риска.

Участившиеся аварии стимулировали развитие вероятностных методов анализа безопасности.

Существуют два подхода к нормированию в области обеспечения экологической и промышленной безопасности: детерминированный и вероятностный.

Детерминированный подход основан на определенной количественной дифференциации и распределении чрезвычайных ситуаций, производственных объектов, технологических процессов, зданий и сооружений, производственного оборудования по степени

опасности на категории, классы и т.п., определяемых по параметру, характеризующему потенциальную энергию взрыва, опасные характеристики и параметры производственных процессов, количество пораженных и пострадавших, а также разрушающие последствия пожара и взрыва,. При этом назначаются конкретные количественные границы этих категорий, классов и т.п. Примерами действующих в РФ нормативных документов, носящих детерминированный характер, являются нормы пожарной безопасности (НПБ 105-95, НПБ 107-97), правила устройства электроустановок (ПУЭ), общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-170-97), строительные нормы и правила (СНиП) и др.

Вероятностный подход основан на концепции допустимого риска с расчетом вероятности достижения определенного уровня безопасности и предусматривает недопущение воздействия на людей опасных факторов производственной среды с вероятностью, превышающей нормативную. Нормативными документами, основанными на вероятностном подходе, являются стандарты ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ «Взрывобезопасность. Общие требования», ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования» и санитарные правила СП 2.6.1.758-99 "Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99).

Вероятностный подход является более прогрессивным и совершенным, поскольку дает возможность нахождения оптимального варианта проектного решения. Он основан на количественной зависимости между опасными производственными факторами, приносимым материальным ущербом и вероятностью реализации опасных факторов с учетом защитных мер. С помощью вероятностных методов можно находить оптимальные технические решения для конкретных объектов. Однако этот подход более сложен и требует многочисленных дополнительных сведений (например, статистических данных о пожарах и взрывах для однотипных объектов, сведений о надежности оборудования и систем), которые, как правило, отсутствуют. Главным затруднением в использовании этого подхода является необходимость учета человеческого фактора и надежности системы «человек-машина».

Рассмотрим использование вероятностного подхода на примере возникновения взрывоопасной ситуации. Поскольку взрыв может быть при одновременном существовании по крайней мере двух независимых факторов: появления горючей смеси и инициирующего фактора - вероятность взрыва может быть представлена как произведение вероятностей:

$$Q(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t),$$

где $Q_1(t)$ - вероятность появления взрывоопасной смеси, 1/год; $Q_2(t)$ - вероятность инициирования взрыва, 1/год.

В свою очередь, вероятности $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$ могут быть представлены произведениями вероятностей появления горючего и окислителя Q_1 и характеристик инициирующего фактора Q_2. Если взрыв возможен без наличия какого-либо фактора, то его величина принимается равной 1.

Нормативные документы разрешают проводить эти расчеты по упрощенным зависимостям. На стадии проектирования предполагается экспоненциальное распределение и вероятность события определяют по теоретической формуле:

$$Q_i(t) = 1 - \exp(-\lambda_i \cdot t),$$

где λ_i - интенсивность событий, 1/год.

В действующих установках вероятность аналогичного события находят по зависимости

$$Q_i(t) = (K_б/t_р) \sum_{j=1}^{j=n} t_j ,$$

где t_j - время существования причины события, час; n - количество реализации; $t_р$ - время работы, час; $K_б$ - коэффициент безопасности, (при n=1, $K_б$ =1).

Обеспечив нормированную вероятность отсутствия взрыва, можем считать технологическую установку (объект) взрывозащищенной.

Однако вероятностные расчеты провести не всегда представляется возможным из-за отсутствия достоверных статистических данных.

Детерминированный метод расчета предполагает сравнение каких-либо параметров с заранее заданными. Принимая в расчетах худшие варианты событий, приводящие к аварийной ситуации, указывают конкретные условия расчетов и возможные допущения, что оправдывает сравнимость результатов. К достоинствам детерминированного подхода относятся: достаточный для различных реальных ситуаций набор необходимых сведений, сравнительная простота использования методов категорирования, высокая степень завершенности элементов этих методов и однозначность решения задач категорирования, выбор мероприятий защиты, регламентированных нормами применительно к установленным категориям. Недостатком этого подхода является ограниченная возможность варьирования при определении категорий и то, что нередко его применение обусловливает затруднения по применению прогрессивных проектных решений и излишние затраты на реализацию этих решений.

Основными нормативными документами для таких расчетов являются межотраслевые нормы и правила НПБ 105-95, НПБ 107-97, ПУЭ, ПБ 09-170-97.

В настоящее время основополагающим документом, устанавливающим степень пожаровзрывоопасности проектируемого объекта, являются нормы НПБ 105-95, НПБ 107-97. Этими документами предусматривается категорирование промышленных и складских помещений, зданий и сооружений, наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

При расчете категории принимается возможность аварийной разгерметизации одной наиболее крупной единицы технологического оборудования с наиболее пожаровзрывоопасным веществом. Основным критерием отнесения того или иного помещения к взрывопожароопасным является избыточное давление взрыва ΔP, превышающее нормированное, величина которого 5 кПа одинакова для любых объектов. Внутри взрывопожароопас-

ных категорий проводится дополнительное деление, исходящее из свойств обращающихся материалов и продуктов. Так, из всех категорий А, Б, В, Г, Д первые две (А и Б) являются взрывопожароопасными, а категория В1-В4 - пожароопасная. В зависимости от установленной категории пожаровзрывоопасности помещения, здания или сооружения предусматриваются определенные объемно- планировочные решения и профилактические мероприятия.

В действующих ПУЭ в качестве критерия взрывоопасности производственных зон принят относительный объем взрывоопасной смеси. Если этот относительный объем превышает 5%, то вся зона признается взрывоопасной классов В-I; В-II; В-Iа; В-IIа, в противном случае взрывоопасной считается зона на расстоянии до 5 м от источника появления горючей смеси (технологического аппарата) в помещении или на нормированном расстоянии. В ряде случаев при объеме смеси, меньшем 5% от свободного объема, все помещение может быть отнесено к классу В-Iб.

Категорирование по НПБ 105-95 и НПБ 107-97 определяет, кроме правил и норм техники безопасности, требования к строительной части, а по ПУЭ - к оборудованию.

Несколько иначе подходят к выбору критерия категорирования по взрывопожароопасности согласно ПБ 09-170-97.

За основу принята суммарная потенциальная энергия, заключенная в технологическом процессе. Степень взрывоопасности технологических блоков определяется суммарным энергетическим потенциалом.

По значениям потенциальной энергии взрывоопасности рассчитывают классификационные величины:

- приведенную массу, в общем случае неравную массе горючих добавок в расчетах по НПБ 105-95;

- относительный энергетический потенциал взрывоопасности.

Обе эти величины жестко связаны между собой, и из одной можно получить другую. Однако считается целесообразным их рассчитывать независимо и по ним проводить категорирование технологических блоков и объектов.

По значениям приведенной массы и относительного энергетического потенциала взрывоопасности производится категорирование технологических блоков по трем возможным категориям взрывоопасности I, II или III.

В зависимости от категории взрывоопасности правилами ПБ 09-170-97 устанавливаются определенные ограничения и назначаются необходимые для обеспечения взрывобезопасности мероприятия.

4.ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РИСКА

4.1.Понятие риска

Риск есть мера опасности и может быть выражен как совокупный фактор вероятности возникновения нежелательного события и его последствий.

Риск – количественная характеристика действия опасностей, формируемых конкретной деятельностью человека, т.е. число смертных случаев, число случаев заболевания, число случаев временной и стойкой нетрудоспособности (инвалидности), вызванной действием на человека конкретной опасности (электрический ток, вредное вещество, двигающийся предмет, криминальные элементы общества и др.), отнесенных на определенное количество жителей (работников) за конкретный период времени.

В широком смысле слова риск выражает возможную опасность, вероятность нежелательного события. Применительно к проблеме безопасности жизнедеятельности таким событием может быть ухудшение здоровья или смерть человека, авария или катастрофа технической системы или устройства, загрязнение или разрушение экологической системы, гибель группы людей или возрастание смертности населения, материальных ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличения затрат на безопасность.

Значение риска от конкретной опасности можно получить из статистики несчастных случаев, случаев заболевания, случаев насильственных действий на членов общества за различные промежутки времени: смена, сутки, неделя, квартал, год. «Риск» в настоящее время все чаще используется для оценки воздействия негативных факторов производства. Это связано с тем, что риск как количественную характеристику реализации опасностей можно использовать для оценки состояния условий труда, экономического ущерба, определяемого несчастным случаем и заболеваниями на производстве, формировать систему социальной политики на производстве (обеспечение компенсаций, льгот).

Опасности могут быть реализованы в форме травм или заболеваний только в том случае, если зона формирования опасностей (ноксосфера) пересекается с зоной деятельности человека (гомосфера). В производственных условиях – это рабочая зона и источник опасности (один из элементов производственной среды) (рис.4.1).

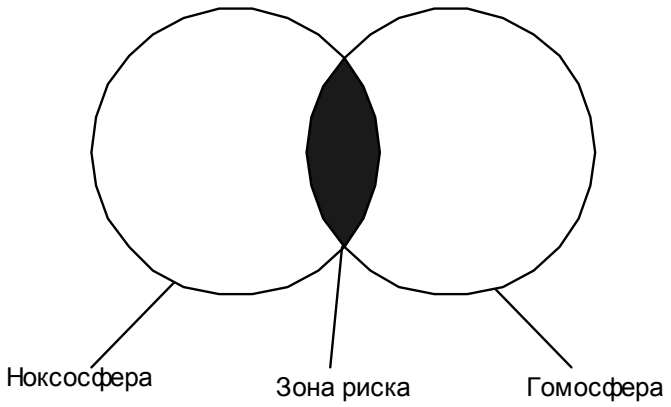


Рис.4.1. Формирование области действия опасности на человека в производственных условиях

В производственных условиях различают индивидуальный и коллективный риск.

Индивидуальный риск характеризует реализацию опасности определенного вида деятельности для конкретного индивидуума. Используемые в нашей стране показатели производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, такие как частота несчастных случаев и профессиональных заболеваний, являются выражением индивидуального производственного риска.

Коллективный риск – это травмирование или гибель двух и более человек от воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Классификация источников опасности и уровни риска смерти человека представлены в таблице 4.1.

Использование риска в качестве единого индекса вреда при оценке действия различных негативных факторов на человека настоящее время применяется для обоснованного сравнения безопасности различных отраслей экономики и типов работ, аргументации социальных преимуществ и льгот для определенной категории лиц.

Достижение некоторого приемлемого индекса вреда риска является не только оценкой безопасности в какой-то одной отрасли промышленности, но и для оценки изменения этого уровня безопасности со временем и при различных условиях труда. Это также важно для количественного установления диапазона риска по всей промышленности в целом так, чтобы безопасность пределов воздействия различных производственных факторов могла быть оценена в части перспективы профессионального риска вообще, его изменения и сокращения. Ожидаемый (прогнозируемый) риск R – это произведение частоты реализации конкретной опасности f на произведение вероятностей нахождения человека в «зоне риска» при различном регламенте технологического процесса:

$$R = f\prod_{i}^{n} p_i (i = 1,2,3,...,n), \qquad (4.1)$$

где f – число несчастных случаев (смертельных исходов) от данной опасности чел$^{-1}$·год$^{-1}$. (для отечественной практики $f = K_ч \cdot 10^{-3}$, т.е. соответствует значению коэффициента частоты несчастного случая, деленного на 1000);

$\prod_{i}^{n} p_i$ – произведение вероятностей нахождения работника в «зоне риска»

Таблица 4.1

Классификация источников и уровней риска смерти человека в промышленно развитых странах (R – число смертельных случаев чел$^{-1}$·год$^{-1}$)

Источник	Причины	Среднее значение
Внутренняя среда организма человека	Генетические и соматические заболевания, старение	$R_{ср} = 0{,}6 – 1 \cdot 10^{-2}$
Естественная среда обитания	Несчастный случай от стихийных бедствий (землетрясения, ураганы, наводнения и др.)	$R_{ср} = 1 \cdot 10^{-6}$: - наводнения $4 \cdot 10^{-6}$; - землетрясения $3 \cdot 10^{-5}$; - грозы $6 \cdot 10^{-7}$; - ураганы $3 \cdot 10^{-8}$
Техносфера	Несчастные случаи в быту,	$R_{ср} = 1 \cdot 10^{-3}$

	на транспорте, заболевания от загрязнений окружающей среды	
Профессиональная деятельность	Профессиональные заболевания, несчастные случаи на производстве (при профессиональной деятельности)	Профессиональная деятельность: - безопасная $R_{ср} < 10^{-4}$; - относительная безопасная $R_{ср} = 10^{-4} – 10^{-3}$; - опасная $R_{ср} = 10^{-3}$ -10^{-2}; - особо опасная $R_{ср} > 10^{2}$
Социальная среда	Самоубийства, самоповреждения, преступные действия, военные действия и т.д.	$R_{ср} = (0,5 – 1,5) \cdot 10^{-4}$

Использование формулы (4.1) для оценки вероятности производственного риска удобно тем, что основываясь на имеющихся на производстве данных о частоте несчастных случаев, можно прогнозировать величину возможного риска, так как регламент технологических процессов дает четкие сведения о времени взаимодействия человека с производственными опасностями в течение рабочего дня, недели, года, т.е. позволяет определить вероятность нахождения работника в «зоне риска». Такой прогноз очень полезен при формировании мероприятий по улучшению условий труда на производстве, так как использование формулы (4.1) позволяет определять величины рисков воздействия различных негативных факторов для конкретного технологического процесса производства, проводить оценку значимости каждого фактора с позиции безопасности, что и является основой формирования мероприятий по улучшению условий труда.

4.2.Управление риском

В соответствии с концепцией безопасности населения и окружающей среды практическая деятельность в области управления риском должна быть построена так, чтобы общество в целом получало наибольшую доступную сумму природных благ.

Управление риском – это анализ рисковой ситуации, разработка и обоснование управленческого решения, нередко в форме правового акта, направленного на минимизацию риска.

В принципах управления риском заложены стратегические и тактические цели. В стратегических целях выражено стремление к достижению максимально возможного уровня благосостояния общества в целом, а в тактических – стремление к увеличению безопасности населения, продолжительности жизни. В них оговариваются как интересы групп населения, так и каждой личности в защите от чрезмерного риска.

Важнейшим принципом является положение о том, что в управление риском должен быть включен весь совокупный спектр существующих в обществе опасностей, и общий риск от них для любого человека и для общества в целом не может превышать “приемлемый” для него уровень.

И, наконец, политика в области управления риском должна строиться в рамках строгих ограничений на воздействие на технические системы и природные экосистемы, состоящих из требований о не превышении величин воздействий предельно допустимых уровней, предельно допустимых концентраций и предельно допустимых экологических нагрузок на экосистемы.

Схема процесса управления риском представлена на рис.4.2.

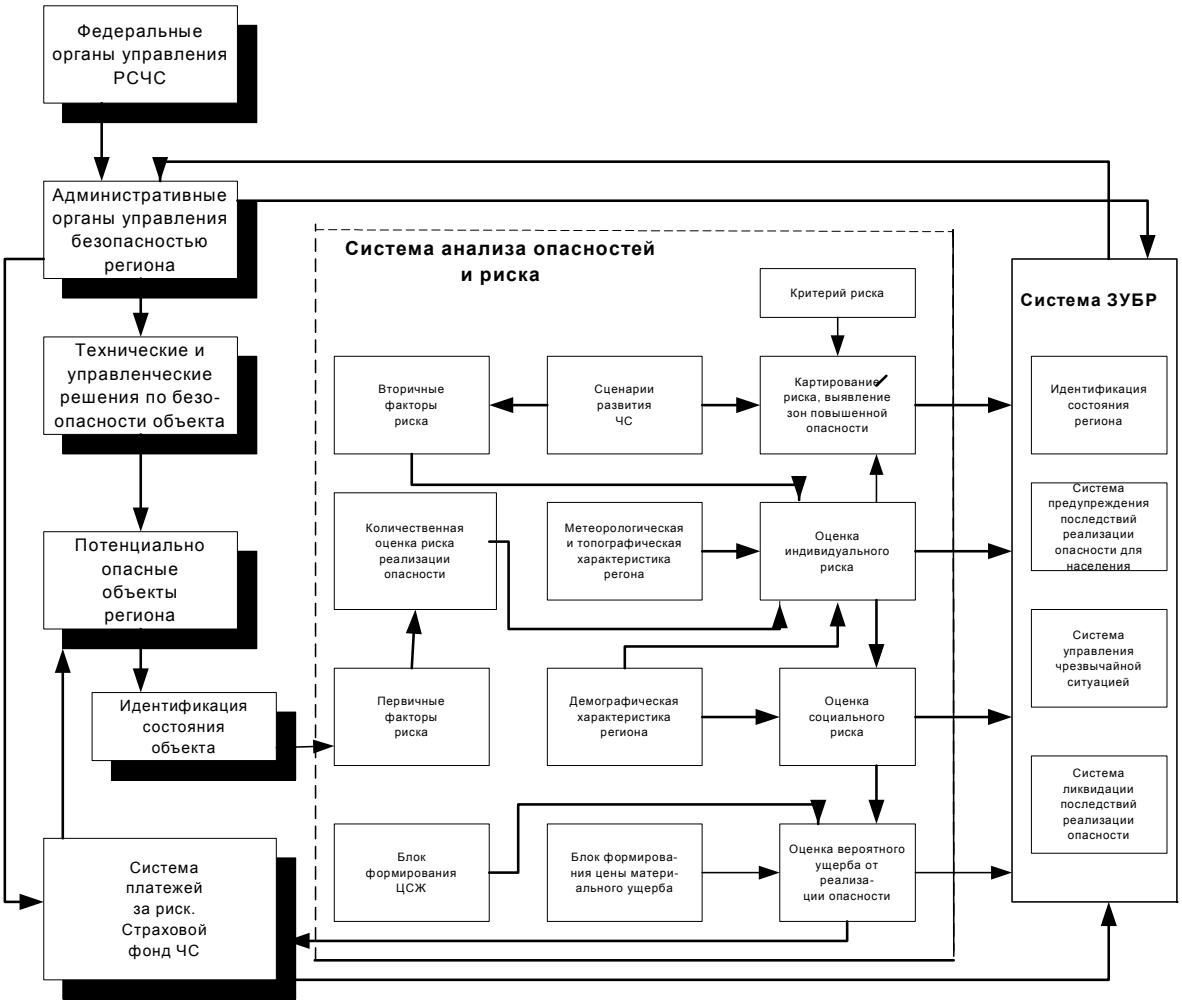


Рис.4.2. Схема управления риском

Для проведения анализа риска, установления его допустимых пределов в связи с требованиями безопасности и принятия управляющих решений необходимы:

- наличие информационной системы, позволяющей оперативно контролировать существующие источники опасности и состояние объектов возможного поражения;

- сведения о предполагаемых направлениях хозяйственной деятельности, проектах и технических решениях, которые могут влиять на уровень техногенной и экологической безопасности, а также программы для вероятностной оценки связанного с ними риска;

- экспертиза безопасности и сопоставление альтернативных проектов и технологий, являющихся источниками риска;

- разработка технико-экономической стратегии увеличения безопасности и определение оптимальной структуры затрат для управления величиной риска и ее снижения до приемлемого уровня с экономической и экологической точек зрения;

- составление рискологических прогнозов и аналитическое определение уровня риска, при котором прекращается рост числа техногенных и экологических поражений;

- формирование организационных структур, экспертных систем и нормативных документов, предназначенных для выполнения указанных функций и процедуры принятия решений;

- воздействие на общественное мнение и пропаганда научных данных об уровнях техногенного и экологического рисков с целью ориентации на объективные оценки риска.

Модель управления риском состоит из четырех частей и этапов.

Первый этап связан с характеристикой риска. На начальном этапе проводится сравнительная характеристика рисков с целью установления приоритетов. На завершающей фазе оценки риска устанавливается степень опасности (вредности).

Второй этап – определение приемлемости риска. Риск сопоставляется с рядом социально-экономических факторов:

- выгоды от того или иного вида хозяйственной деятельности;

- потери, обусловленные использованием вида деятельности;

- наличие и возможности регулирующих мер с целью уменьшения негативного влияния на среду и здоровье человека.

Процесс сравнения опирается на метод “затраты – выгоды” (рис.4.3).

В сопоставлении “нерисковых” факторов с “рисковыми” проявляется суть процесса управления риском.

Возможны три варианта принимаемых решений:

- риск приемлем полностью;

- риск приемлем частично;

- риск неприемлем полностью.

В настоящее время уровень пренебрежимого предела риска обычно устанавливают как 1% от максимально допустимого.

В двух последних случаях необходимо установить пропорции контроля, что входит в задачу третьего этапа процедуры управления риском.

Третий этап – определение пропорции контроля – заключается в выборе одной из “типовых” мер, способствующей уменьшению (в первом и во втором случае) или устранению (в третьем случае) риска.

Четвертый этап – принятие регулирующего решения – определение нормативных актов (законов, постановление, инструкций) и их положений, соответствующих реализации той “типовой” меры, которая была установлена на предшествующей стадии. Данный элемент, завершая процесс управления риском, одновременно увязывает все его стадии, а

также стадии оценки риска в единый процесс принятия решений, в единую концепцию риска.

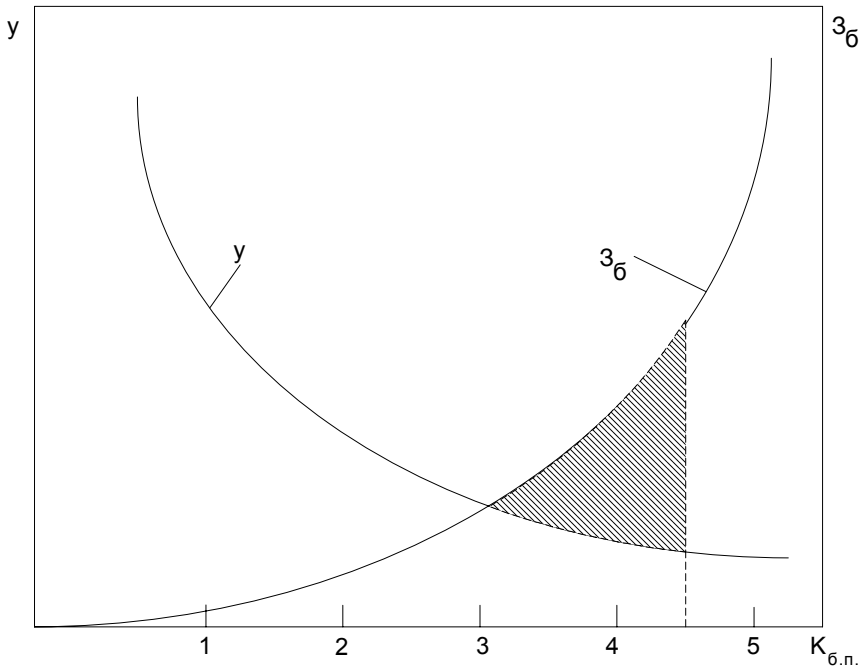


Рис.4.3. Соотношение ущерба и затрат на безопасность.

4.3.Классификация видов риска

Формирование опасных и чрезвычайных ситуаций – результат определенной совокупности факторов риска, порождаемых соответствующими источниками. Понятие риска применяется для измерения опасности и обычно относится к индивидууму или группе населения, имуществу или окружающей среде.

Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать техногенный, экологический, индивидуальный, коллективный, социальный и экономический риск. Каждый вид его обусловливают характерные источники и факторы риска.

Аналитически риск выражает частоту реализации опасностей по отношению к возможному их числу.

В общем виде

$$R = \frac{N(t)}{Q(f)}, \qquad (4.2)$$

где R – риск; N – количественный показатель частоты нежелательных событий в единицу времени t; Q – число объектов риска, подверженных определенному фактору риска f.

При анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств, выделяют *техногенный* (*технический*) *риск*, – комплексный показатель надежности элементов тех-

носферы, показатели которого определяются соответствующими методами теории надежности. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений:

$$R_T = \frac{\Delta T(t)}{T(f)}, \qquad (4.3)$$

где $R_т$ – технический риск; ΔT – число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах и объектах; T – число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска f.

Источники технического риска: низкий уровень научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; опытное производство новой техники; серийный выпуск небезопасной техники; нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем.

Наиболее распространенные факторы технического риска: ошибочный выбор по критериям безопасности направлений развития техники и технологий; выбор потенциально опасных конструктивных схем и принципов действия технических систем; ошибки в определении эксплуатационных нагрузок; неправильный выбор конструкционных материалов; недостаточный запас прочности; отсутствие в проектах технических средств безопасности; некачественная доводка конструкции, технологии, документации по критериям безопасности; отклонения от заданного химического состава конструкционных материалов; недостаточная точность конструктивных размеров; нарушение режимов термической и химико-термической обработки деталей; нарушение регламентов сборки и монтажа конструкций и машин; использование техники не по назначению; нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации; несвоевременные профилактические осмотры и ремонты; нарушение требований транспортирования и хранения.

Экологический риск выражает вероятность экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия. Нежелательные события экологического риска могут проявляться как непосредственно в зонах вмешательства, так и за их пределами:

$$R_o = \frac{\Delta O(t)}{O}, \qquad (4.4)$$

где $R_о$ – экологический риск; ΔO – число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени t; O – число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

Масштабы экологического риска R_o^m оцениваются процентным соотношением площади кризисных или катастрофических территорий ΔS к общей площади рассматриваемого биогеоценоза S:

$$R_o^m = \frac{\Delta S}{S} 100. \qquad (4.5)$$

Дополнительным косвенным критерием экологического риска может служить интегральный показатель экологичности территории предприятия, соотносимый с динамикой плотности населения (численности работающих):

$$O_m = \pm\Delta L = \frac{\pm\Delta M(t)}{S}, \qquad (4.6)$$

где $O_т$ – уровень экологичности территории; ΔL – динамика плотности населения (работающих); S – площадь исследуемой территории; ΔM – динамика прироста численности населения (работающих) в течение периода наблюдения t:

$$\Delta M = G + F - U - V, \qquad (4.7)$$

где G, F, U, V – соответственно численность родившихся за наблюдаемый период, прибывших в данную местность на постоянное местожительство, умерших и погибших, выехавших в другую местность на постоянное местожительство (уволившихся).

В этой формуле разность $G - U$ характеризует естественный, а $F - V$ – миграционный прирост населения на территории (текучесть кадров).

Положительные значения уровней экологичности позволяют разделять территории по степени экологического благополучия, и наоборот, отрицательные значения уровней – по степени экологического бедствия. Кроме того, динамика уровня экологичности территории позволяет судить об изменении экологической ситуации на ней за длительные промежутки времени, определить зоны экологического бедствия (демографического кризиса) или благополучия.

В современных условиях основным источником экологического риска является техногенное влияние на окружающую природную среду, а наиболее распространенными факторами экологического риска - загрязнение водоемов, атмосферного воздуха вредными веществами, почвы отходами производства; изменение газового состава воздуха; энергетическое загрязнение биосферы.

Одной из наиболее часто употребляющихся характеристик опасности является *индивидуальный риск* — частота поражения отдельного индивидуума (человека) в результате воздействия исследуемых факторов опасности.

Индивидуальный риск обусловлен вероятностью реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций. Его можно определить по числу реализовавшихся факторов риска.

В общем случае количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени.

$$R_н = \frac{P(t)}{L(f)}, \qquad (4.8)$$

где $R_н$ – индивидуальный риск; P – число пострадавших (погибших) в единицу времени t от определенного фактора риска f; L – число людей, подверженных соответствующему фактору риска в единицу времени t.

Источником индивидуального риска в производственной сфере является профессиональная деятельность, а наиболее распространенным фактором риска - опасные и вредные

производственные факторы. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и готовностью индивидуума к действиям в опасной ситуации, его защищенностью. Индивидуальный риск, как правило, следует определять не для каждого человека, а для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты. Рекомендуется оценивать индивидуальный риск отдельно для персонала объекта и для населения прилегающей территории или, при необходимости, для более узких групп, например для рабочих различных специальностей.

Другим комплексным показателем риска, характеризующим пространственное распределение опасности по объекту и близлежащей территории, является *потенциальный территориальный риск* — частота реализации поражающих факторов в рассматриваемой точке территории. Потенциальный территориальный риск используется при расчете распределения риска по территории вокруг объекта (*картировании риска*). В этом случае индивидуальный риск определяется как потенциальным территориальным риском, так и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. Потенциальный территориальный, или потенциальный, риск не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что условная вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (т.е. человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с названием, выражает собой потенциал максимально возможной опасности для конкретных объектов воздействия (реципиентов), находящихся в данной точке пространства. Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска при крупных авариях. Распределения потенциального риска и населения в исследуемом районе позволяют получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно рассчитать количество пораженных при каждом сценарии от каждого источника опасности и затем определить частоту событий F, при которой может пострадать на том или ином уровне N и более человек.

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

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей. По существу – это риск для группы или сообщества людей. Оценить его можно, например, по динамике смертности, рассчитанной на 1000 человек соответствующей группы:

$$R_c = \frac{1000(C_2 - C_1)}{L}(t), \qquad (4.9)$$

где R_c – социальный риск; C_1 – число умерших в единицу времени t (смертность) в исследуемой группе в начале периода наблюдения до развития чрезвычайных событий; C_2 –

смертность в той же группе людей в конце периода наблюдения, например на стадии затухания чрезвычайной ситуации; L – общая численность исследуемой группы.

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

Одним из основных источников социального риска являются промышленные технологии и объекты повышенной опасности, а соответствующими факторами социального риска – аварии на АЭС, ТЭС, химических комбинатах, продуктопроводах, транспортные катастрофы, техногенное загрязнение окружающей среды.

Экономический риск определяется соотношением пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности:

$$R_{э'} = \frac{B}{П}100, \qquad (4.10)$$

где $R_э$ – экономический риск, %; B – вред обществу от рассматриваемого вида деятельности; $П$ – польза.

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

В условиях хозяйственной деятельности необходим поиск оптимального соотношения затрат на безопасность и возможного ущерба от недостаточной защищенности. Найти его можно, если задаться некоторым значением реально достижимого уровня безопасности производства. Более распространен подход, когда уровни приемлемого риска, в том числе и индивидуального, определяются в каждом конкретном случае.

Использование рассматриваемых видов риска позволяет выполнять поиск оптимальных решений по обеспечению безопасности жизнедеятельности как на уровне предприятия, так и на макроуровнях в масштабах инфраструктур.

5. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА

5.1.Методология анализа и оценки риска

Новое Российское законодательство об охране здоровья граждан, охране окружающей природной среды, охране труда, санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, защите прав потребителей выдвигает проблему комплексной оценки безопасности жизнедеятельности людей как в условиях конкретной производственной системы, так и в масштабах города, региона, страны. Особое значение в этой связи приобретают методы интегральных оценок неблагоприятных факторов, воздействующих на здоровье людей и среду обитания.

Оценка опасностей и разработка на этой основе оптимальных мероприятий с учетом всей совокупности различных факторов социально-экономического характера – одна из ключевых проблем управления промышленной безопасностью.

Первые обобщающие звенья в построении таких методик – идентификация опасностей, декомпозиционные схемы опасных и чрезвычайных ситуаций, классификация источников и факторов риска, их сравнительная оценка (рис.5.1).

При решении комплексных вопросов безопасности в развитых странах широко применяется методология риска, основу которой составляет определение последствий и вероятности нежелательных событий. Используя количественные показатели риска, в принципе можно «измерять» потенциальную опасность и даже сравнивать опасности различной природы. При этом в качестве показателей опасности обычно понимают индивидуальный или социальный риск гибели людей (или, в общем случае, причинения определенного ущерба).

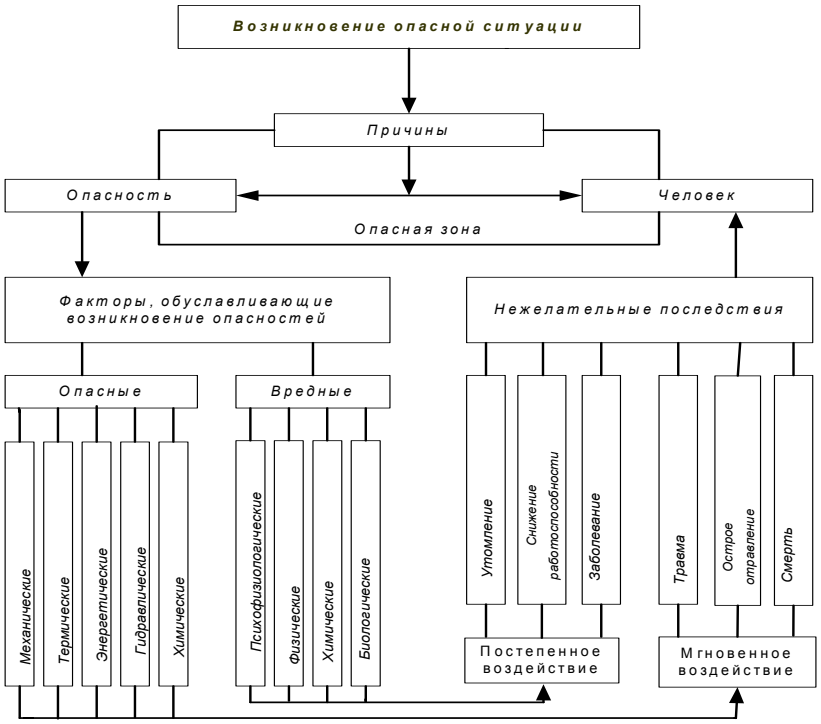


Рис.5.1. Декомпозиция опасной ситуации

Один из основных элементов регулирования законодательства по промышленной безопасности – требование проведения анализа опасности или риска.

Обычно анализ риска рассматривают как часть системного подхода к принятию политических решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде, называемого управление риском.

Анализ риска аварий на опасных производственных объектах является составной частью управления промышленной безопасностью. Анализ риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий.

Результаты анализа риска используются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности, обосновании технических решений по обеспечению безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности по критериям «стоимость – безопасность - выгода», оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и при других процедурах, связанных с анализом безопасности.

Вкладом в реализацию Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и определённым шагом на пути решения проблемы оценки риска следует считать разработку Госгортехнадзором России «Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01)». Впервые в отечественную нормативную систему введён документ, содержащий терминологию и методологию анализа риска. Риск или степень риска предлагается рассматривать как сочетание частоты (вероятности) и последствий конкретного опасного события. Математическое выражение риска $p(t)$ – это соотношение числа неблагоприятных проявлений опасности n к их возможному числу N за определённый период времени, т.е. $p(t) = n/N$. Помимо этого используется понятие «степень риска» R, т.е. вероятность наступления нежелательного события с учётом размера возможного ущерба от события. Степень риска можно представить как математическое ожидание величины ущерба от нежелательного события:

$$R(m) = \sum_{i=1}^{n} p_i m_i \ ,$$

где p_i – вероятность наступления события, связанного с ущербом; m_i – случайная величина ущерба, причинённого экономике, здоровью и т.п.

Принято различать:

- *индивидуальный риск* – вероятность гибели человека при данном виде деятельности;

- *социальный риск* – зависимость числа погибших людей от частоты возникновения события, вызывающего поражение этих людей.

Значение индивидуального риска используется для количественной оценки потенциальной опасности конкретного рабочего места, вида деятельности, рабочей зоны и т.п.,

социального – для интегральной количественной оценки опасных производственных объектов, характеристики масштаба воздействия аварии. Особую роль для общества играет установление приемлемого риска. В зарубежной практике при решении производственных задач считается приемлемым значение индивидуального риска $1*10^{-8}$. Индивидуальный риск выше $1*10^{-6}$ – неприемлем. Однако эти значения – отправные данные для обоснования пороговых значений риска. Норматива допустимого социального риска не существует. Косвенно социальный риск определяется опасностью производственных объектов (предприятий). Оценка опасности объектов предполагает анализ опасных факторов производства, установление численных значений вероятности возникновения опасных ситуаций, анализ их развития и прогноз возможного числа погибших людей.

Основные задачи анализа риска аварий на опасных производственных объектах заключаются в предоставлении лицам, принимающим решения:

- объективной информации о состоянии промышленной безопасности объекта;
- сведений о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности;
- обоснованных рекомендаций по уменьшению риска.

Несмотря на различие в подходах к последовательности этапов процесса управления риском, можно выделить три общие для всех документов составляющие этого процесса:

- информацию о производственной безопасности;
- анализ риска;
- контроль производственной безопасности.

Анализ риска базируется на собранной информации и определяет меры по контролю безопасности технологической системы, поэтому основная задача анализа риска заключается в том, чтобы обеспечить рациональное основание для принятия решений в отношении риска.

Анализ риска или риск-анализ – это систематическое использование имеющейся информации для выявления опасностей и оценки риска для отдельных лиц или групп населения, имущества или окружающей среды.

Понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия опасного события. Анализ риска, в свою очередь, заключается в выявлении (идентификации) опасностей и оценке риска, когда под опасностью понимается источник потенциального ущерба или вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба, а под идентификацией опасности – процесс выявления и признания, что опасность существует, и определение ее характеристик. Применение понятия риск, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск фактически есть мера опасности.

Оценка риска включает в себя анализ частоты, анализ последствий и их сочетание (рис.5.2).

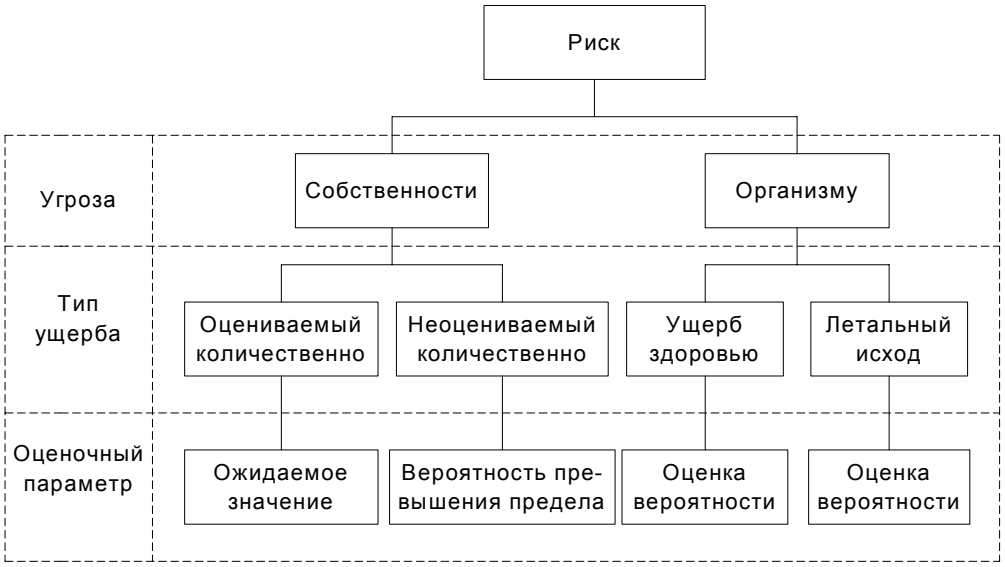


Рис.5.2. Схема оценки риска

Анализ риска проводится по следующей общей схеме:

1. Планирование и организация;
2. Идентификация опасностей;

2.1. Выявление опасностей;

2.2. Предварительная оценка характеристик опасностей;

3. Оценка риска;

3.1. Анализ частоты;

3.2. Анализ последствий;

3.3. Анализ неопределенностей;

4. Разработка рекомендаций по управлению риском.

Первое, с чего начинается любой анализ риска, – это планирование и организация работ. Поэтому на первом этапе необходимо:

- указать причины и проблемы, вызывавшие необходимость проведения риск-анализ;
- определить анализируемую систему и дать ее описание;
- подобрать соответствующую команду для проведения анализа;
- установить источники информации о безопасности системы;
- указать исходные данные и ограничения, обуславливающие пределы риск-анализа;
- четко определить цели и задачи проводимого анализа риска;
- обосновать используемые методы анализа риска;
- определить критерии приемлемого риска.

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

- выявление опасностей и априорная количественная оценка риска с учетом воздействия поражающих факторов аварии на персонал население» имущество и окружающую природную среду;

- обеспечение учета результатов при анализе приемлемости предложенных решений и выборе оптимальных вариантов размещения опасного производственного объекта, применяемых технических устройств, зданий и сооружений опасного производственного объекта, включая особенности окружающей местности, расположение иных объектов и экономическую эффективность;

- обеспечение информацией для разработки инструкций, технологического регламента и планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;

- оценка альтернативных предложений по размещению опасного производственного объекта или: техническим решениям.

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

- выявление опасностей и оценки последствий аварий, уточнение оценок риска полученных на предыдущих этапах функционирования опасного производственного объекта;

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

- разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию (выводу из эксплуатации).

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

- проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

- уточнение информации об основных опасностях и рисках (в том числе при декларировании промышленной безопасности);

- разработка рекомендаций по организации деятельности надзорных органов;

- совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию планов ликвидации (локализации) аварийных ситуаций на опасном производственном объекте;

- оценка эффекта изменения организационных структур, приемов практической работы и технического обслуживания в отношении совершенствования системы управления промышленной безопасностью.

При выборе методов анализа риска следует учитывать цели, задачи анализа, сложность рассматриваемых объектов, наличие необходимых данных.

Основным требованием к выбору или определению критерия приемлемого риска является его обоснованность и определенность» При этом критерии приемлемого риска могут задаваться нормативной документацией, определяться на этапе планирования анализа риска и (или) в процессе, получения результатов анализа. Критерии приемлемого риска следует определять исходя из совокупности условий, включающих определенные требования безопасности и количественные показатели опасности. Условие приемлемости рис-

ка может выражаться в виде условий выполнения определенных требований безопасности, в том числе количественных критериев.

Основой для определения критериев приемлемого риска являются:

- нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области;

- сведения о происшедших авариях, инцидентах и их последствиях;

- опыт практической деятельности;

- социально-экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта.

Следующий этап анализа риска – идентификация опасностей (рис.5.3).

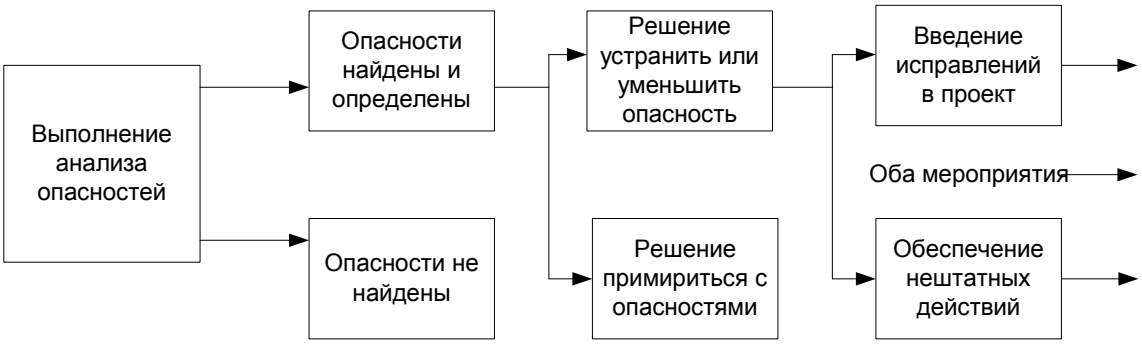


Рис. 5.3. Процедура анализа опасностей

Основные задачи этапа идентификации опасностей — выявление и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации.

При идентификации следует определить, какие элементы, технические устройства, технологические блоки или процессы в технологической системе требуют более серьезного анализа и какие представляют меньший интерес с точки зрение безопасности.

Здесь же проводится предварительная оценка опасностей с целью выбора дальнейшего направления деятельности:

- прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок;

- провести более детальный анализ опасностей и оценку риска;

- выработать предварительные рекомендации по уменьшению опасностей.

В принципе процесс анализа риска может заканчиваться уже на этапе идентификации опасностей.

При необходимости, после идентификации опасностей переходят к этапу оценки риска.

Основные задачи этапа оценки риска:

- определение частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий;

- оценка последствий возникновения нежелательных событий и обобщение оценок риска.

На этапе оценки риска идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска, чтобы идентифицировать опасности с неприемлемым уровнем риска, что является основой для разработки рекомендации и мер по уменьшению опасностей. При этом критерий приемлемого риска и результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно.

Согласно определению оценка риска включает в себя анализ частоты и анализ последствий. Однако, когда последствия незначительны или частота крайне мала, достаточно оценить один параметр.

Для определения частоты нежелательных событий рекомендуется использовать:

- статистические данные по аварийности и надежности технологической системы, соответствующие специфике опасного производственного объекта или виду деятельности;

- логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели возникновения аварий в человекомашинной системе;

- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в данной области.

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

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

- интегрирования показателей рисков всех нежелательных событий (сценариев аварий) с учетом их взаимного влияния;

- анализа неопределенности и точности полученных результатов;

- анализа соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности и критериям приемлемого риска.

Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска. Анализ неопределенностей – необходимая составная часть оценки риска. Как правило, основные источники неопределенностей – информация по надежности оборудования и человеческим ошибкам, а также допущения применяемых моделей аварийного процесса. Анализ неопределенности – это перевод неопределенности исходных параметров и предположений, использованных при оценке риска, в неопределенность результатов.

Наибольший объем рекомендаций по обеспечению безопасности вырабатывается с применением качественных (инженерных) методов анализа риска, позволяющие достигать

основных целей риска-анализа при использовании меньшего объема информации и затрат труда. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях – и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы или при экспертизе особо опасных сложных технических систем.

Наконец, последний этап анализа риска технологической системы – разработка рекомендаций по уменьшению уровня риска (управлению риском) в случае, если степень риска выше приемлемой. В рекомендациях представляются обоснованные меры по уменьшению риска, основанные на результатах оценок риска.

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

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

- меры по уменьшению вероятности возникновения аварийной ситуации, включающие: меры по уменьшению вероятности возникновения инцидента, меры по уменьшению вероятности перерастания инцидента в аварийную ситуацию;

- меры по уменьшению тяжести последствий аварии, которые, в свою очередь, имеют следующие приоритеты: меры, предусматриваемые при проектировании опасного объекта (например, выбор несущих конструкций, запорной арматуры), меры, относящиеся к системам противоаварийной защиты и контроля (например, применение газоанализаторов), меры, касающиеся готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации последствий аварий.

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

- при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска эксплуатации опасного производственного объекта;

- при минимальных затратах обеспечить снижение риска до приемлемого уровня.

5.2. Качественные методы анализа опасностей и риска

Обьектом анализа опасностей и риска является система «человек-машина-окружающая среда (ЧМС)», в которой в единый комплекс объединены технические объекты, люди и окружающая среда, взаимодействующие друг с другом.

Анализ опасностей и риска описывает опасности качественно и количественно и заканчивается планированием предупредительных мероприятий. Он базируется на знании алгебры логики и событий, теории вероятностей, статистическом анализе, требует инженерных знаний и системного подхода.

При выборе и применении методов анализа риска рекомендуется придерживаться следующих требований:

- метод должен быть научно обоснован и соответствовать рассматриваемым опасностям;

- метод должен давать результаты в виде, позволяющем лучше понять формы реализации опасностей и наметить пути снижения риска;

- метод должен быть повторяемым и проверяемым.

Анализ опасностей и риска начинают с предварительного исследования, позволяющего идентифицировать источники опасности. На стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска.

Качественные методы анализа опасностей и риска позволяют определить источники опасностей, потенциальные аварии и несчастные случаи, последовательности развития событий, пути предотвращения аварий (несчастных случаев) и смягчения последствий.

Выбор соответствующего качественного метода анализа опасностей на стадии анализа риска зависит от цели анализа, назначения объекта и его сложности. Качественные методы анализа опасностей включают:

- «Что будет, если...?»;
- проверочный лист;
- предварительный анализ опасностей;
- анализ видов и последствий отказов;
- анализ опасности и работоспособности;
- анализ ошибок персонала;
- причинно-следственный анализ;
- анализ «дерева отказов» или «дерева причин»;
- анализ «дерева событий» или «дерева последствий»;
- количественный анализ риска.

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

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

Эти методы наиболее просты, нетрудоемкие и наиболее эффективны при исследовании безопасности объектов с известной технологией.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) осуществляют в следующем порядке:

- изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы и устанавливают их повреждающие свойства;
- устанавливают нормативно-техническую документацию, действие которой распространяется на данный технический объект, систему, процесс;
- проверяют существующую техническую документацию на ее соответствие нормам и правилам безопасности;
- составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей, повреждающие факторы, потенциальные аварии, выявленные недостатки.

Анализ видов и последствий отказов (АВПО) – качественный метод идентификации опасностей, основанный на системном подходе и имеющий характер прогноза (рис.5.4). Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал не-

исправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему. Этот метод детального анализа отказов оборудования применяется также на более поздних этапах разработки.

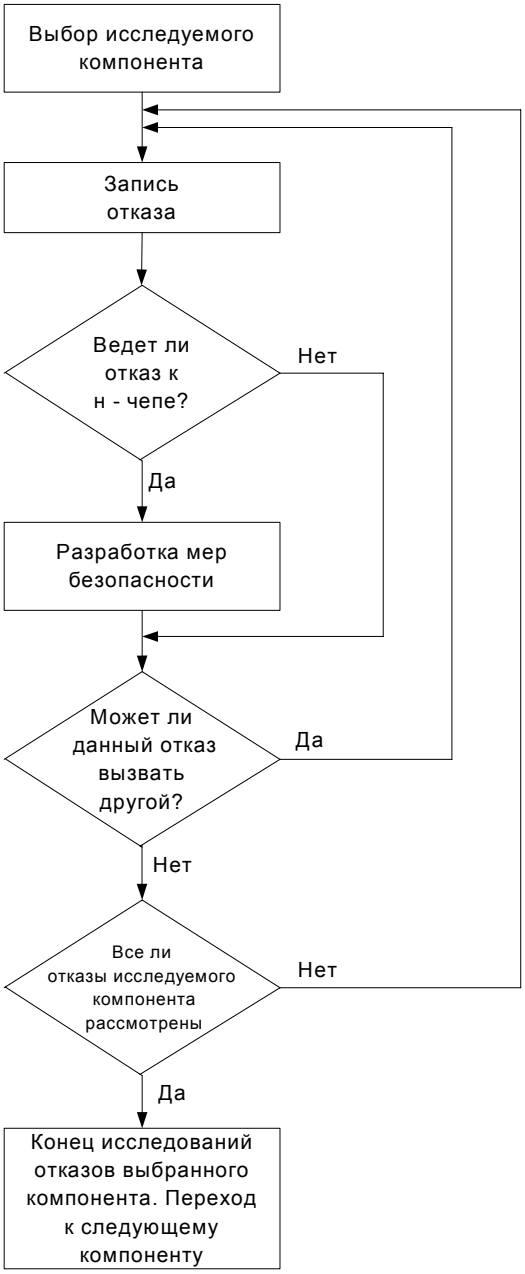


Рис.5.4. Алгоритм исследования отказов

АВПО включает подсчет количества нежелательных событий для каждого варианта развития аварий; прослеживание распространения нежелательных состояний, ведущих к катастрофическим последствиям; оценка воздействия на здоровье людей и повреждений материальных ценностей; составления общего заключения о данном производственном процессе на основе сравнения с другими видами риска. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта.

По результатам анализов отказов могут быть собраны данные о частоте отказов, необходимые для количественной оценки уровня опасности рассматриваемого объекта.

АВПО осуществляют в следующем порядке:

- техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;

- для каждого компонента выявляют возможные отказы;

- изучают потенциальные аварии, которые могут вызвать отказы на исследуемом объекте;

- отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предупредительные меры.

АВПО является анализом индуктивного типа, с помощью которого систематически, на основе последовательного рассмотрения одного элемента за другим анализируются все возможные виды отказов или аварийные ситуации и выявляются их результирующие воздействия на систему. Отдельные аварийные ситуации и виды отказов элементов позволяют, определить их воздействие на другие близлежащие элементы и систему в целом.

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

Анализ критичности отказов как метод изучения отказов оборудования с точки зрения возникновения аварии отчасти отражен в ГОСТ Р 27.310-96 «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

Рекомендуется определять критерии критичности для различных видов отказов элементов:

Категория 1: Отказ, потенциально приводящий к жертвам.

Категория 2: Отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи.

Категория 3: Отказ, приводящий к задержкам и потере работоспособности.

Категория 4: Отказ, приводящий к дополнительному, запланированному обслуживанию.

Элементы можно классифицировать, вычислив *коэффициенты критичности* C_r

$$C_r = \sum_{i=1}^{T} \beta \alpha K_E K_A \lambda_G t \bullet 10^6 \quad , \quad n = 1,\ 2,\ \ldots,\ N$$

где C_r - коэффициент критичности для элементов системы в потерях на миллион попыток; β - условная вероятность того, что последствия отказа для данного вида критического отказа имеют место при условии, что произошел критический отказ данного вида; α - коэффициент отношения данного вида отказа к критическому; K_E – коэффициент окружающих условий, учитывающий разницу между окружающими условиями при замере параметра λ_G и ожидаемыми условиями работы элемента; K_A- коэффициент, учитывающий разницу между загрузкой элемента при определении параметра λ_G и ожидаемой загрузкой элемента в данной системе; λ_G – соответствующая частота отказов элементов системы, выраженная в отказах за час или за цикл работы; t – время работы в часах или число рабочих циклов данного элемента при выполнении программы; n – число критичных видов отказов элемента системы, которые подпадают под конкретное определение потерь; N – суммарное число критических видов отказов элементов системы, соответст-

вующих данному определению потерь; 10^6- множитель, переводящий коэффициент C_r от потерь на попытку к потерям на 1 млн. попыток. Таким образом, C_r обычно больше единицы.

При упрощенном вычислении следует пренебрегать коэффициентами K_E и K_A, а значение λ_G использовать в качестве приближенного значения интенсивности отказов для данного вида отказа и условий работы.

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

В качестве примера в табл. 5.1 приведены показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа. Для анализа выделены четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от отказа: персонал, население, имущество (оборудование, сооружения, здания, продукция и т.п.), окружающая среда.

В табл. 5.1 применены следующие варианты критериев:

а) критерии отказов по тяжести последствий:

- *катастрофический отказ* — приводит к смерти людей, существенному ущербу имуществу, наносит невосполнимый ущерб окружающей среде;

- *критический* (*некритический*) *отказ* — угрожает (не угрожает) жизни людей, приводит (не приводит) к существенному ущербу имуществу, окружающей среде;

- *отказ с пренебрежимо малыми последствиями* — отказ, не относящийся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий;

Таблица 5.1

Матрица «вероятность – тяжесть последствий»

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

б) категории (критичность) отказов:

A — обязателен количественный анализ риска или требуются особые меры обеспечения безопасности;

B — желателен количественный анализ риска или требуется принятие определенных мер безопасности;

C — рекомендуется проведение качественного анализа опасностей или принятие некоторых мер безопасности;

D — анализ и принятие специальных (дополнительных) мер безопасности не требуются.

Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений.

Методом *анализа опасности и работоспособности* (АОР) или эквивалентным ему *анализом опасностей методом потенциальных отклонений* (АОМПО) исследуются опасности отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов. Эти методы включают процедуру искусственного создания отклонений технологических параметров с помощью ключевых слов. Для этого разбивают технологический процесс или техническую систему на составные части и, создавая с помощью ключевых слов отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике.

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

Примерное содержание ключевых слов следующее:

«*нет*» — отсутствие прямой подачи вещества, когда она должна быть;

«*больше* (*меньше*)» — увеличение (уменьшение) значений режимных переменных по сравнению с заданными параметрами (температуры, давления, расхода);

«*так же, как*» — появление дополнительных компонентов (воздух, вода, примеси);

«*другой*» — состояние, отличающиеся от обычной работы (пуск, остановка, повышение производительности и т.д.);

«*иначе, чем*» — полное изменение процесса, непредвиденное событие, разрушение, разгерметизация оборудования;

«*обратный*» — логическая противоположность замыслу, появление обратного потока вещества.

В табл. 5.2 представлен результат анализа опасности и работоспособности цеха холодильно-компрессорных установок. В процессе анализа для каждой установки, производственной линии или блока определяются возможные отклонения, причины и рекомендации по обеспечению безопасности. При характеристике каждого возможного отклонения используются ключевые слова «нет», «больше», «меньше» «так же, как», «другой», «иначе, чем», «обратный» » т.п. В табл. 5.2 приведены также экспертные балльные оценки вероятности возникновения рассматриваемого отклонения В, тяжести последствий Т и показателя критичности К = В + Т. Показатели В и Т определялись по 4-балльной шкале (балл, равный 4, соответствует максимальной опасности).

АОР и АОМПОпо сложности и качеству результатов соответствуют уровню АВПО или АВПКО.

Отклонения, имеющие повышенные значения критичности, далее рассматриваются более детально, в том числе при построении сценариев аварийных ситуаций и количественной оценки риска.

Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО (см. табл. 5.1). Метод АОР, так же как АВПКО, кроме идентификации опасностей и их ранжирования позволяет выявить неясности и неточности в инструкциях по безопасности и способствует их дальнейшему совершенствованию. Недостатки методов связаны с затрудненностью их применения для анализа комбинаций событий, приводящих к аварии.

Таблица 5.2

Перечень отклонений при применении метода изучения опасности и работоспособности компрессорного узла цеха холодильно-компрессорных установок

Ключевое слово	Отклонение	Причины	Последствия	В	Т	К	Рекомендации
Меньше	Нет потока вещества	1.Разрыв трубопровода 2.Отказ в системе электропитания	Выброс аммиака Опасности нет	2 3	4 1	6 4	Установить систему аварийной сигнализации Повысить надежность системы резервирования
Больше	Повышение давления нагнетания компрессора	3.Закрыт нагнетательный вентиль	Разрушение компрессора и выброс аммиака	1	2	3	Заменить реле давления, предохранительный и обратные клапаны
		4.Отсутствует или недостаточная подача воды на конденсатор	Как в п.3	1	2	3	-
		5.Наличие большого количества воздуха в конденсаторе	Образование взрывоопасной смеси	1	3	4	-
	Повышение температуры нагнетания компрессора	6.Нет потока воды через охлаждаемую рубашку компрессора	Разрушение компрессора с выбросом аммиака	1	2	3	Установить реле температуры на компрессорах ВД и НД
		7.Чрезмерный перегрев паров аммиака на всасывании	Как в п. 6	1	2	3	-
Меньше	Понижение давления всасывания	Повышенная производительность компрессора	Опасности нет	1	1	2	Проверить реле давления

Анализ ошибок персонала (АОП). Одним из важнейших элементов анализа опасностей является человеческий фактор, позволяющий охарактеризовать как ошибки, инициирующие или усугубляющие аварийную ситуацию, так и способность персонала совершить корректирующие действия по управлению аварией.

Метод АОП включает следующие этапы:

- выбор системы и вида работы;

- определение цели;

- идентификацию вида потенциальной ошибки;

- идентификацию последствий;

- идентификацию возможности исправления ошибки;

- идентификацию причины ошибки;

- выбор метода предотвращения ошибки;

- оценку вероятности ошибки;

- оценку вероятности исправления ошибки;

- расчет риска;

- выбор путей снижения риска.

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшей аварии. Он завершается прогнозом новых аварий и составлением плана мероприятий по их предупреждению. ПСА включает следующие этапы:

- сбор информации о точном и объективном описании аварии;

- составление перечня реальных событий, предшествовавших аварии;

- построение ориентированного графа – «дерева причин», начиная с последней стадии развития событий, т.е. с самой аварии;

- выявляют логические связи «дерева причин»;

- формулирование предупредительных мер с целью исключения повторения аварии данного типа или для избежания аналогичных аварий.

Анализ опасностей с помощью «*дерева причин*» потенциальной аварии (АОДП) или идентичного ему «*дерева отказов*» позволяет выявить комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию, т.е. аварийной ситуации.

Анализ опасных ситуаций с помощью «дерева» выполняют в следующем порядке:

- выбирают потенциальную аварию или отказ, который может привести к аварии;

- выявляют все факторы, которые могут привести к заданной аварии, включая все потенциальные инциденты;

- по результатам этого анализа строят ориентированный граф-«дерево», вершина (корень) которого занумерована потенциальной аварией.

Проведение анализа возможно только после детального изучения рабочих функций всех компонентов рассматриваемой технической системы. На работу системы оказывает влияние человеческий фактор, например, возможность совершения оператором ошибки. Поэтому желательно все потенциальные инциденты - "отказы операторов" вводить в содержание «дерева отказов».

Качественный анализ дерева отказов заключается в определении аварийных сочетаний. *Аварийное сочетание* - это определенный набор исходных событий. Если все эти исходные события случаются, существует гарантия, что конечное событие происходит. Большие системы имеют значительное число видов отказов. Чтобы упростить анализ, следует рассматривать только те виды отказов, которые являются основными. Поэтому вводится понятие минимального аварийного сочетания.

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

«Дерево отказов» отражает статический характер событий. Построением нескольких деревьев можно отразить их динамику, т. е. развитие событий во времени. Для определения последовательности событий при аварии, включающей сложные взаимодействия между техническими системами обеспечения безопасности, используется «дерево событий».

Анализ опасностей с помощью «*дерева событий*» или идентичного ему «*дерева последствий*» потенциальной аварии (АОДПО) отличается от АОДП тем, что в этом случае задается потенциальное событие – инициатор, и исследуют всю группу событий – последствий, к которым оно может привести.

Разновидностью «дерева событий» является «*дерево решений*». В «дереве событий» рабочие состояния системы не рассматриваются, так что сумма вероятностей всех событий не равна единице. В «дереве решений» все возможные состояния системы выражаются через состояния элементов. «Дерево решений» может использоваться, если отказы всех элементов независимы или если имеются элементы с несколькими возможными состояниями, а также есть односторонние зависимости. Они не могут использоваться при наличии двусторонних зависимостей и не обеспечивают проведения логического анализа при выборе начальных событий.

Анализ «*дерева причин – последствий*» начинается с выбора критического события. Критические события выбирают таким образом, чтобы они служили удобными отправными точками для анализа, причем большинство аварийных ситуаций развивается за критическим событием в виде цепи отдельных событий. Типичными критическими событиями, ведущими к аварийным ситуациям, могут быть отклонения основных параметров технологического процесса, например, в баках или контейнерах; расширение диапазона давления или степени загрязнения; начало процесса выпуска партии продукции или начало процедуры пуска или остановки; событие, которое приводит в действие систему обеспечения безопасности.

«*Выявление последствий*», являющееся частью анализа «дерева причин - последствий», начинается с выбора первичного события с последующим рассмотрением всей цепи событий. На различных ступенях цепи могут разветвляться и развиваться по двум направлениям в зависимости от различных условий. Например, начало пожара может привести к двум цепям событий: постепенному уничтожению всего предприятия или включению пожарной сигнализации с вызовом пожарной команды. Цепь событий может принять различные взаимоисключающие формы в зависимости от изменяющихся условий. Например, распространение пожара может зависеть от того, произошел ли он в час пик, что может помешать своевременному прибытию пожарной команды на место происшествия.

Процедура построения диаграммы последствий состоит из выбора первого инициирующего события, за которым следуют другие события, определенные на данном этапе

работы. При анализе «дерева причин - последствий» используются комбинированные методы «дерева отказов» (выявить причины) и «дерева событий» (показать последствия), причем все явления рассматриваются в естественной последовательности их появления.

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

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

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

В табл. 5.3 представлены обобщенные данные по рассмотренным методам анализа и оценки риска.

Таблица 5.3

Сравнительные данные различных методов анализа риска

Метод	Характеристика	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4
1. Предварительный анализ опасностей (ПАО).	Определяет опасности для системы и выявляет элементы для проведения АПО и построения «дерева отказов». Частично совпадает с методом и анализом критичности.	Является первым необходимым шагом.	Нет
2. Анализ видов и последствий отказов (АВПО).	Рассматривает все виды отказов по каждому элементу. Ориентирован на аппаратуру.	Прост для понимания, стандартизован, непротиворечив. Не требует применения математического аппарата.	Рассматривает неопасные отказы, требует много времени, часто не учитывает сочетания отказов и человеческого фактора.
3. Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО).	Определяет и классифицирует элементы для усовершенствования систем.	Хорошо стандартизован, прост для пользования и понимания. Не требует применения математического аппарата.	Часто не учитывает эргономику, отказы с общей причиной и взаимодействие систем.
4. Анализ с помощью «дерева отказов».	Начинается с инициирующего события, затем отыскиваются комбинации отказов, которые его вызывают.	Широко применим, эффективен для описания взаимосвязей отказов, ориентирован на отказы: позволяет отыскивать пути развития отказов системы.	Большие «деревья отказов» трудны в понимании, не совпадают с обычными схемами протекания процессов и математически неоднозначны. Метод требует использования сложной логики.
5. Анализ с помощью «дерева событий».	Начинается с инициирующих событий, затем рассматриваются альтернативные последовательности событий.	Дает возможность определить основные последовательности и альтернативные результаты отказов.	Не пригоден при параллельной последовательности событий и для детального изучения.
6. Анализ дерева типа «причина-последствия».	Начинается с критического события и развивается с помощью «дерева последствий» в прямой последовательности с помощью «дерева отказов» в обратной последовательности.	Чрезвычайно гибок и насыщен, обеспечен документацией, хорошо демонстрирует последовательные цепи событий.	Диаграммы типа «причина-последствие» вырастают до слишком больших размеров. Обладают многими из недостатков, присущих методам анализа с помощью «дерева отказов».

Рекомендации по выбору методов анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Рекомендации по выбору методов анализа риска

Метод	Вид деятельности				
	Размещение (предпроектные работы)	Проектирование	Ввод или вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Реконструкция
Анализ «Что будет, если..?»	0	+	++	++	+
Метод проверочного листа	0	+	+	++	+
Анализ опасности и работоспособности	0	++	+	+	++
Анализ видов и последствий отказов	0	++	+	+	++
Анализ «деревьев отказов и событий»	0	++	+	+	++
Количественный анализ риска	++	++	0	+	++

В табл. 5.4 приняты следующие обозначения:

0 — наименее подходящий метод анализа;

+ — рекомендуемый метод;

++ — наиболее подходящий метод.

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

5.3 .Логико-графические методы анализа опасностей и риска

Анализ причин промышленных аварий показывает, что возникновение и развитие крупных аварий, как правило, характеризуется комбинацией случайных локальных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях аварии (отказы оборудования, человеческие ошибки при эксплуатации/ проектировании, внешние воздействия, разрушение/ разгерметизация, выброс/ утечка, пролив вещества, испарение, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т.д.) Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы.

Модели процессов в человеко-машинных системах должны отражать процесс появления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествия в виде соответствующих диаграмм причинно-следственных связей – диаграмм влияния. Такие диаграммы являются формализованными представлениями моделируемых объектов, процессов, целей, свойств в виде множества графических символов (узлов, вершин) и отношений

– предполагаемых или реальных связей между ними. Широкое распространение получили диаграммы в форме *потоковых графов* (графов состояний и переходов), *деревьев событий* (целей, свойств) и *функциональных сетей* различного предназначения и структуры.

Из анализа структуры диаграммы влияния следует, что основными ее компонентами служат *узлы* (вершины) и *связи* (отношения) между ними. В качестве узлов обычно подразумеваются простейшие элементы моделируемых категорий (переменные или константы) – события, состояния, свойства, а в качестве связей – активности, работы, ресурсы и другие взаимодействия. Отношения или связи между переменными или константами в узлах диаграммы графически представляются в виде линий, называемых дугами или ребрами.

Каждые два соединенных между собой узла образуют ветвь диаграммы. В тех случаях, когда узлы связаны направленными дугами таким образом, что каждый из них является общим ровно для двух ветвей, возникают *циклы* или *петли*.

Переменные в узлах характеризуются *фреймами* данных – множеством выходов (значений, принимаемых переменными, неизменных во времени и между собой не пересекающихся) и условными распределениями вероятностей появления каждого из них.

С помощью предварительно построенных диаграмм – графов, сетей, и деревьев могут быть получены математические модели аварийности и травматизма, например.

В исследовании безопасности широкое распространение получили диаграммы влияния ветвящейся структуры, называемые «деревом» событий (отказов, происшествий). *Деревом* событий называют не ориентированный граф, не имеющий циклов, являющийся конечным и связным. В нем каждая пара вершин должна быть связанной (соединенной цепью), однако все соединения не должны образовывать петель (циклов), т.е. содержать такие маршруты, вершины которых одновременно являются началом одних и концом других цепей.

Структура *дерева происшествий* обычно включает одно, размещаемое сверху нежелательное событие – происшествие (авария, несчастный случай, катастрофа), которое соединяется с набором соответствующих событий – предпосылок (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих определенные их цепи или «ветви». «Листьями» на ветвях дерева происшествий служат предпосылки – инициаторы причинных цепей, рассматриваемые как постулируемые исходные события, дальнейшая детализация которых не целесообразна. В качестве узлов дерева происшествий могут использоваться как отдельные события или состояния, так и логические условия их объединения (сложения или перемножения).

Пример 5.1. Предполагается (рис.5.5), что поражение человека электрическим током (головное событие L) является результатом одновременного наложения трех условий: появления электрического потенциала высокого напряжения на металлическом корпусе электроустановки (событие H), нахождение человека на токопроводящем основании, соединенном с землей (событие I), и касание какой-либо частью его тела корпуса электроустановки (событие K).

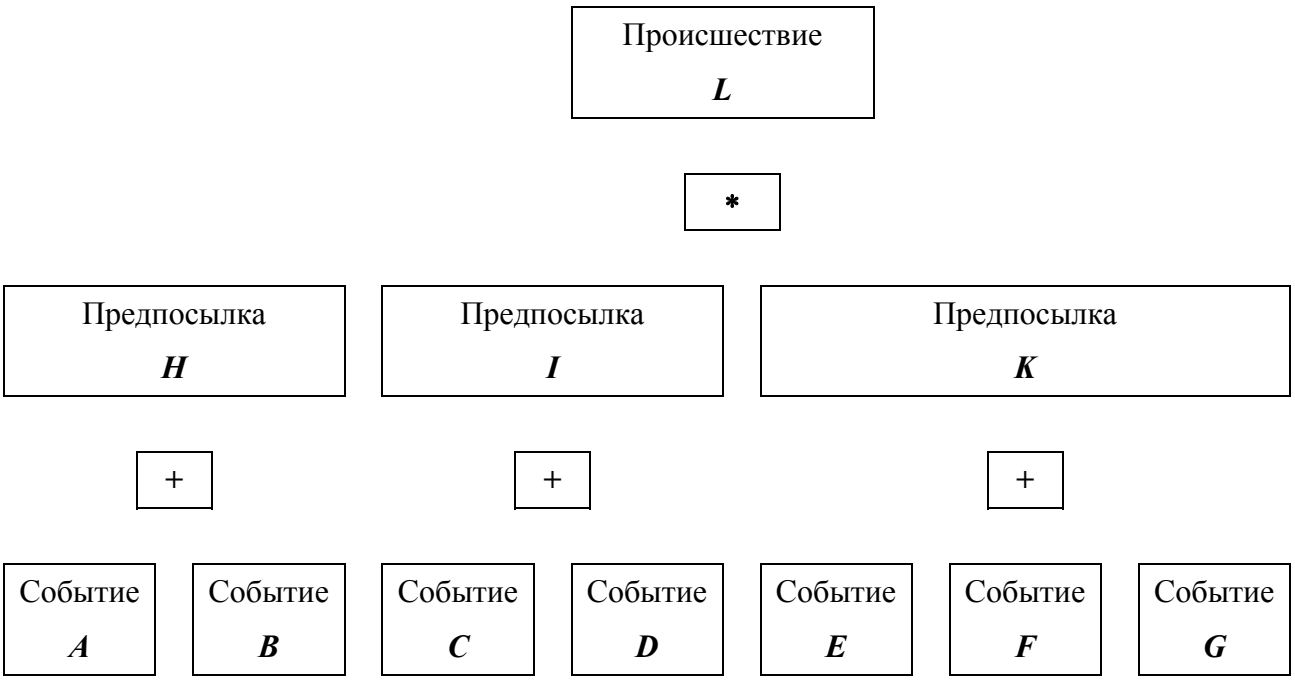


Рис. 5.5. Дерево причин поражения человека электрическим током

В свою очередь, событие H будет следствием любого из двух других событий-предпосылок A и B, например, снижения сопротивления изоляции или касания токоведущими частями электроустановки ее корпуса по причине их раскрепления; событие I также обусловлено двумя предпосылками C и D (нахождение человека на токопроводящем основании (на полу) или его касанием заземленных элементов); а событие K – следствием одной из трех предпосылок E, F и G, например, необходимостью ремонта, технического обслуживания или использованием электроустановки по назначению.

Наиболее компактное аналитическое представление условий возникновения рассмотренного происшествия выполнено следующей записью:

$$L = (A + B)(C + D)(E + F + G).$$

В последние десятилетия интенсивно разрабатываются диаграммы влияния из класса семантических или функциональных *сетей*, которые являются графами, но с дополнительной информацией, содержащихся в их узлах и дугах (ребрах). Достоинства таких сетей – возможность объединения логических и графических способов представления исследуемых процессов, учет стохастичности информации, выраженной узлами и дугами, доступность для моделирования циклических и многократно наблюдаемых событий, наибольшие (по сравнению с другими типами диаграмм) логические возможности.

Другим (после графов) и наиболее широко используемым типом диаграмм влияния являются «деревья». В безопасности диаграммы данного класса часто называют «деревом происшествий» и «деревом их исходов». Они являются в сущности графами с ветвящейся структурой и с дополнительными (логическими) условиями.

Основные достоинства этих моделей: сравнительная простота построения; дедуктивный характер выявления причинно-следственных связей исследуемых явлений; направленность на их существенные факторы; легкость преобразования таких моделей; наглядность реакции изучаемой системы на изменение структуры; декомпозируемость «дерева» и процесса его изучения; возможность качественного анализа исследуемых процессов; легкость дальнейшей формализации и алгоритмизации; приспособленность к обработке на средствах ВТ; доступность для статистического моделирования и количественной оценки изучаемых явлений, процессов и их свойств.

Создание дерева заключается в определении его структуры: а) элементов – головного события (происшествия) и ему предшествующих предпосылок; б) связей между ними – логических условий, соблюдение которых необходимо и достаточно для его возникновения.

На практике обычно используют обратную или прямую *последовательность* выявления условий возникновения конкретных происшествий или аварийности и травматизма в целом: а) от головного события *дедуктивно* к отдельным предпосылкам, либо б) от отдельных предпосылок *индуктивно* к головному событию.

Выявление возможных происшествий необходимо *увязывать с логикой* нежелательного высвобождения и распространения энергии или вредных веществ, а предпосылками и условиями их появления – считать старение, коррозию, диссоциацию, нагрев, охлаждение, загрязнение, увлажнение и другие процессы, сопровождающиеся изменением свойств рассматриваемой системы по естественным причинам или в результате вредных внешних воздействий.

Помимо перечисленных выше технических предпосылок, особо следует выделить факторы, связанные непосредственно с человеком – самими работающими. При учете в моделях типа «дерево происшествий» предпосылок, являющихся следствием непроизвольных (ошибочных) и умышленно неправильных (несанкционированных) действий человека на технике, необходимо помнить, что поведение человека обусловлено как внутренними, так и внешними причинами, в том числе и реакцией на внешние факторы.

Идея прогнозирования размеров ущерба от происшествий в человеко-машинных системах основана на использовании деревьев специального типа (*деревьев исходов*) – вероятностных графов. Их построение позволяет учитывать различные варианты разрушительного воздействия потоков энергии или вредного вещества, высвободившихся в результате происшествия.

Анализ дерева происшествий связан с определением возможности появления или не появления головного события – происшествия конкретного типа. Данные условия устанавливаются путем выделения из всего массива исходных предпосылок двух подмножеств, реализация которых либо приводит, либо не приводит к возникновению головного события. Такие подмножества делятся на *аварийные сочетания* предпосылок, образующие в совокупности с условиями их появления каналы прохождения сигнала до этого события, и *отсечные сочетания*, исключающие условия формирования таких путей к го-

ловному событию. Самым удобным способом выявления условий возникновения и предупреждения происшествий является выделение из таких подмножеств так называемых «*минимальных сочетаний событий*», т.е. тех из них, появление которых минимально необходимо и достаточно для достижения желаемого результата.

Минимальное пропускное (аварийное) сочетание рассматривается как набор исходных предпосылок, осуществление всех элементов которого достаточно для появления головного события (прохождение сигнала до него). В одном дереве происшествий может быть несколько минимальных сочетаний предпосылок, дающих наиболее существенный вклад в реализацию исследуемого исхода. Например, на рассмотренном дереве происшествий имеется 12 минимальных пропускных сочетаний исходных событий-предпосылок: *ACE, ACF, ACG, ADE, ADF, ADG, BCE, BCF, BCG, BDE, BDF, BDG.*

Минимальное отсечное сочетание является дополнением минимального пропускного сочетания, т.к. формулирует условия не возникновения головного события. Это множество включает такой набор событий, который гарантирует отсутствие происшествия, при условии не возникновения ни одного (из составляющих рассматриваемое сочетание) события-предпосылок. На рассмотренном дереве происшествий можно выделить три минимальных отсечных сочетания событий: *AB, CD, EFG.*

Для отражения существенности вклада отдельных предпосылок и их сочетаний иногда вводятся показатели их *значимости* и *критичности*. Эти категории могут указывать на вероятность наступления таких состояний моделируемого процесса, при которых появление отдельных событий или их наборов оказывается наиболее существенным, значимым, а иногда и критичным – минимально необходимым и достаточным по отношению к условиям возникновения или предупреждения головного события.

Наиболее известным средством аналитического представления заданного деревом процесса служат *структурные функции*. Они позволяют выразить достоверность появления головного события в зависимости от соответствующих характеристик исходных предпосылок. Для изображения рассмотренного дерева может быть получена следующая структурная функция:

$$P(L) = P(A + B) \cdot P(C + D) \cdot P(E + F + G),$$

где $P(*)$ – вероятности наступления случайных или возможности возникновения уникальных (невоспроизводимых) предпосылок к происшествию.

Количественный анализ аварийности и травматизма с помощью структурных функций осуществляется в следующей последовательности:

- модель декомпозируется на отдельные блоки;

- в выбранных блоках выделяются подмножества событий, соединенных условиями «*И*» и «*ИЛИ*»;

- проводится расчет параметров достоверности наступления вершинных для блоков событий;

- исходное дерево и соответствующая ему структурная функция упрощаются за счет их укрупнения;

- рассчитывается мера возможности возникновения происшествия.

При оценке числовых характеристик исследуемого дерева происшествий руководствуются рядом *правил* и *допущений*.

1. События дерева, соединенные логическим условием «*И*», объединяются по принципу их перемножения, при этом считается, что параметр головного события рассчитывается как произведение из *n* параметров предпосылок (сомножителей):

$$P = P_1 P_2 \ldots P_n = \prod_{i=1}^{n} P_i.$$

2. События дерева, соединенные логическим условием «*ИЛИ*», объединяются по принципу логического сложения, а их соответствующие параметры образуют следующую алгебраическую зависимость:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)\ldots(1 - P_n) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - P_i),$$

которая в частных случаях, например, для $n = 2$ и $n = 3$, принимает вид:

$$P_{i=2} = P_1 + P_2 - P_1P_2;$$

$$P_{i=3} = P_1P_3 + P_2P_3 + P_3P_1 - P_1P_2P_3.$$

3. Преобразование и упрощение структурных функций осуществляется с соблюдением основных правил *булевой* алгебры. В соответствии с законом поглощения справедливы, например, следующие равенства:

$$A \cdot (A \cdot B) = A \cdot B;$$

$$A + (A + B) = A.$$

4. При известных структурных схемах безотказности технических систем и безопасности функционирования они могут быть легко преобразованы в дерево происшествий. При этом их параллельно соединенные элементы соответствуют логическому условию «*И*», а последовательно соединенные – условию «*ИЛИ*».
5. Количественный анализ дерева происшествий сложной структуры значительно упрощается за счет использования выявленных на предыдущем этапе минимальных сочетаний событий. Основная идея упрощения сводится к построению нового, эквивалентного исходному, но более простого дерева, включающего в себя один из двух наборов перечисленных выше сочетаний и одно логическое условие.

При анализе методом «деревьев отказов» выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возникновения аварийной ситуации и расчета ее вероятности (на основе здания вероятностей исходных событий).

Дерево отказов - это топологическая модель надежности и безопасности, которая отражает логико-вероятностные взаимосвязи между отдельными случайными исходными событиями в виде первичных отказов или результирующих отказов, совокупность которых приводит к главному анализируемому событию.

Таким образом, дерево отказов - это ориентировочный граф в виде дерева.

Пример 5.2. На рис. 5.6. приведено «дерево отказа» (в отечественной литературе встречаются и иные наименования этого «дерева»: «дерево отказов», «дерево неполадок» «дерево происшествий» и т.п.), используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций при автоматизированной заправке емкости, на рис. 5.7 – причины наезда на человека автокрана.

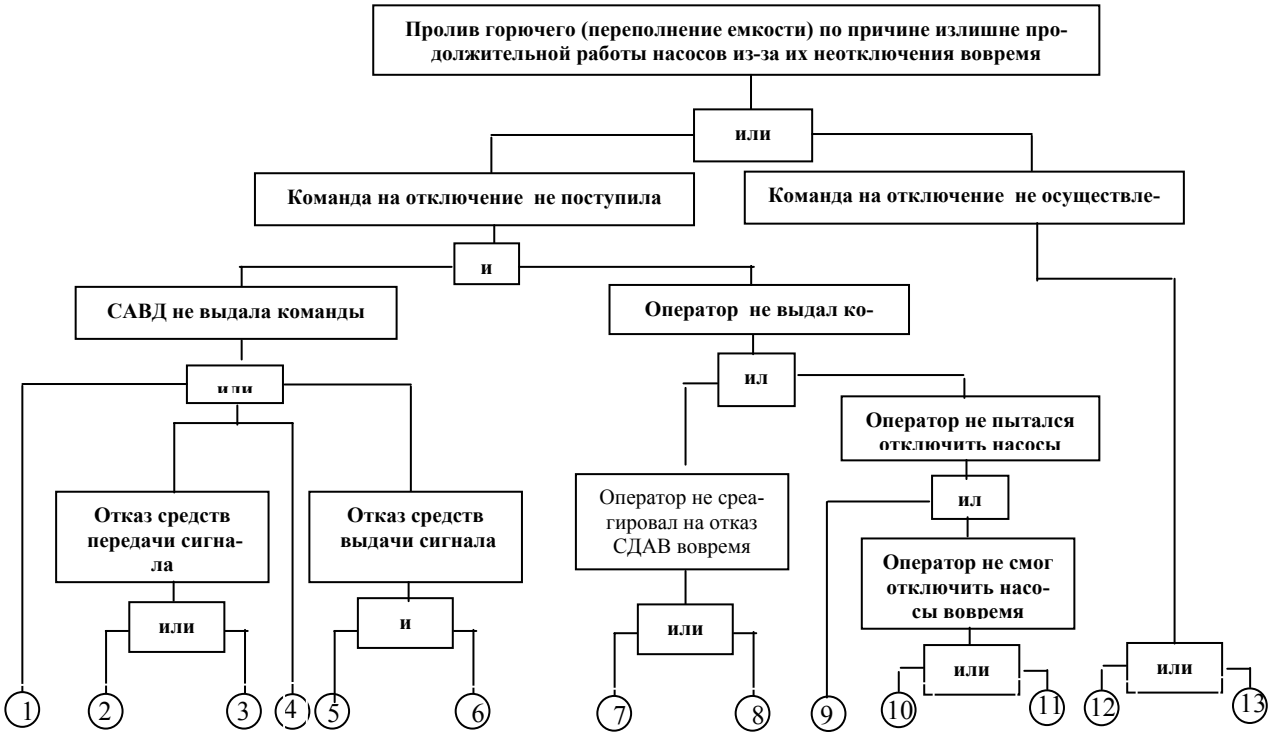


Рис. 5.6. «Дерево отказа» заправочной операции

Структура «дерева отказа» включает одно головное событие (аварию, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событии (ошибок, отказов, неблагоприятных внешний воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в узлах «деревьев» используются знаки «*И*» и «*ИЛИ*». Логический знак «*И*» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «*ИЛИ*» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий. Так, «дерево», представленное на рис. 5.5, имеет промежуточные события (прямоугольники), тогда как в нижней части «дерева» кругами с цифрами показаны постулируемые исходные события-предпосылки.

Анализ «дерева отказа» позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному событию (в нашем случае на рис. 5.6 их три), а также указать связанные с ними минимальные пропускные сочетания минимальные отсечные сочетания.

Минимальные пропускные сочетания — это набор исходных событий-предпосылок (на рис.5.6 отмечены цифрами), обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии). Для «дерева», отображенного на рис. 5.6, такими событиями и (или) сочетаниями являются: {12}, {13}, {1-7}, {1-8}, {1-9}. {1-10}, {1-11}, {2-7}, {2-8}, {2-9}, {2-10}, {2-11}, {3-7}, {3-8}, {3-9}, {3-10}, {3-11}, {4-7}, {4-8}, {4-9}, {4-10}, {4-11}, {5-6-7}, {5-6-8}, {5-6-9}, {5-6-10}, {5-6-11}.

Используются главным образом для выявления «слабых» мест.

Минимальные отсечные сочетания — набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не возникновения ни одного из составляющих этот набор событий: {1 - 2 – 3 – 4 – 5 – 12 - 13}, {1 – 2 – 3 – 4 – 6 – 12 - 13}, {7 – 8 – 9 – 10 - 1 - 12 - 13}.

Используются главным образом для определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии.

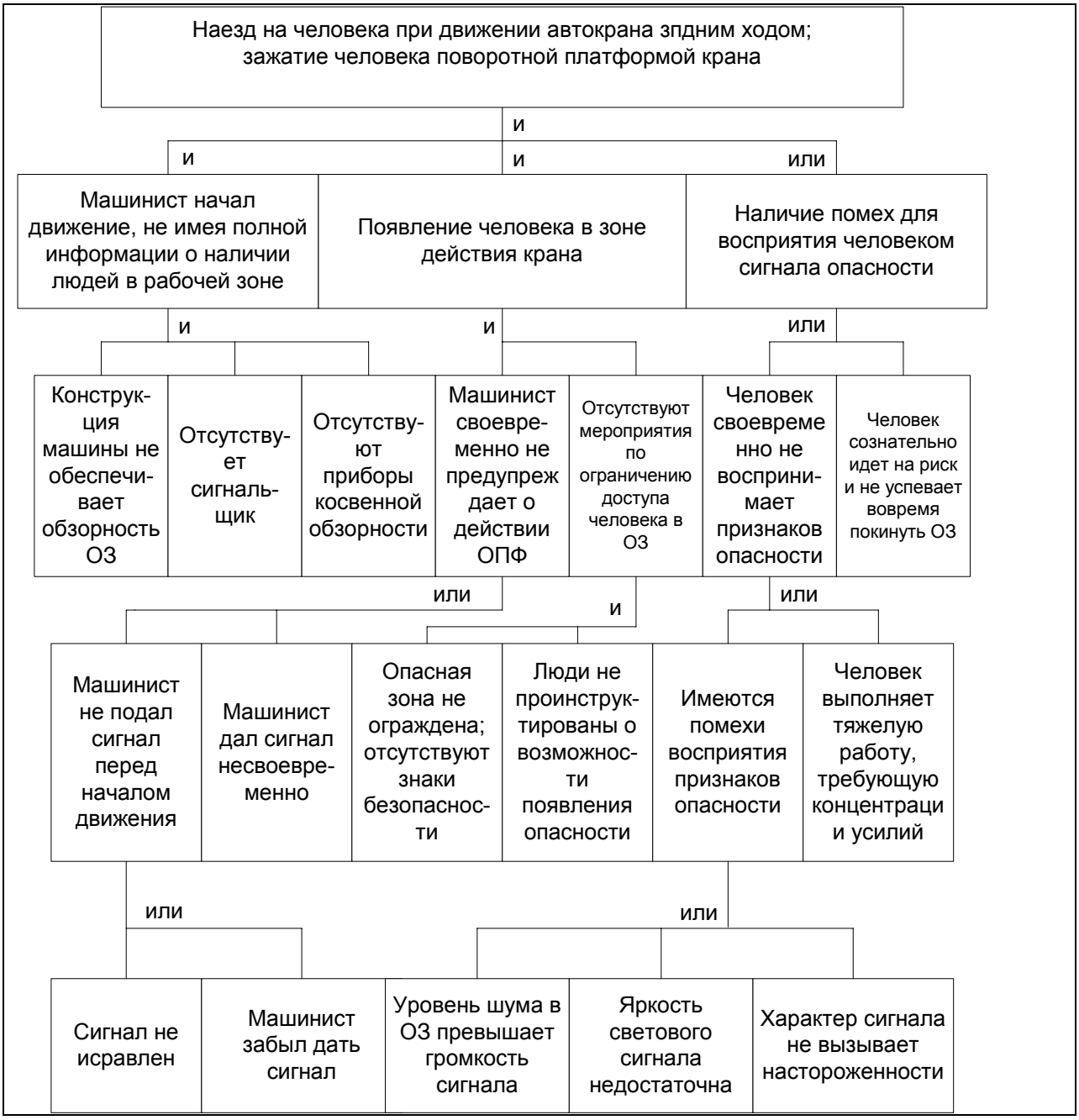


Рис. 5.7. Пример построения дерева причин

Пример 5.3. Во дворе предприятия водитель тягача приступил к сцепке тягача с прицепом. Операция осложнилась из-за различной высоты тягача и прицепа, и водитель спустился вниз, чтобы выяснить причину, забыв поставить тягач на тормоз. Когда водитель находился между прицепом и тягачом, тягач с работающим двигателем скатился назад по небольшому уклону и придавил водителя к раме прицепа.

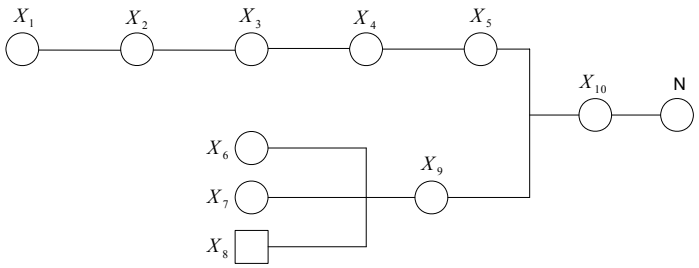


Рис. 5.8. Дерево причин аварии тягача:

X_1 - обычно используемый тягач вышел из строя; X_2 - другой тягач использовался в работе; X_3 - различие в высоте прицепа и нового тягача; X_4 - осуществление сцепки затруднено; X_5 - водитель встает между тягачом и прицепом; X_6 - не включен ручной тормоз; X_7 - вибрации от работающего двигателя; X_8 - двор имеет уклон; X_9 - тягач движется к прицепу; X_{10} - водитель зажимается между прицепом и тягачом; *N*- несчастный случай (травма); (X_8 - факт постоянного характера; остальные случайного).

Анализ происшествия состоит в выяснении причин несчастного случая, выявлении источников опасности и выработке предупредительных мероприятий. Результаты анализа приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Результаты анализа происшествия

Причины несчастного случая	Источники опасности	Предупредительные Мероприятия
Двор с уклоном	Неподходящие места стоянки	Реконструкция двора
Тягач, вышедший из строя	Поломка оборудования	Предупредительный ремонт транспортных средств
Разная высота прицепе и тягача	Техническая несовместимость оборудования	Стандартизация соединения оборудования
Неустановленный тормоз, работающий двигатель	Недостаточная подготовка персонала	Инструктаж водителей

Выделяют пять типов вершин дерева отказов (ДО):

- вершины, отображающие первичные отказы;

- вершины, отображающие результирующие или вторичные отказы;

- вершины, отображающие локальные отказы, которые не влияют на возникновение других отказов;

- вершины, соответствующие операции логического объединения случайных событий (типа ”*ИЛИ* ”);

- вершины, соответствующие операции логического произведения случайных событий (типа ”*И*”).

Каждой вершине ДО, отображающей первичный или результирующий отказ, соответствует определенная вероятность возникновения отказа. Одним из основных преимуществ ДО является то, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов систем и событий, которые приводят к постулируемому отказу или аварии. Чтобы определить вероятность отказа, необходимо найти аварийные сочетания, для чего необходимо произвести качественный и количественный анализ дерева отказов.

Пример 5.4. На рис. 5.9. представлено «дерево событий» для количественного анализа различных сценариев аварий на установке первичной переработки нефти

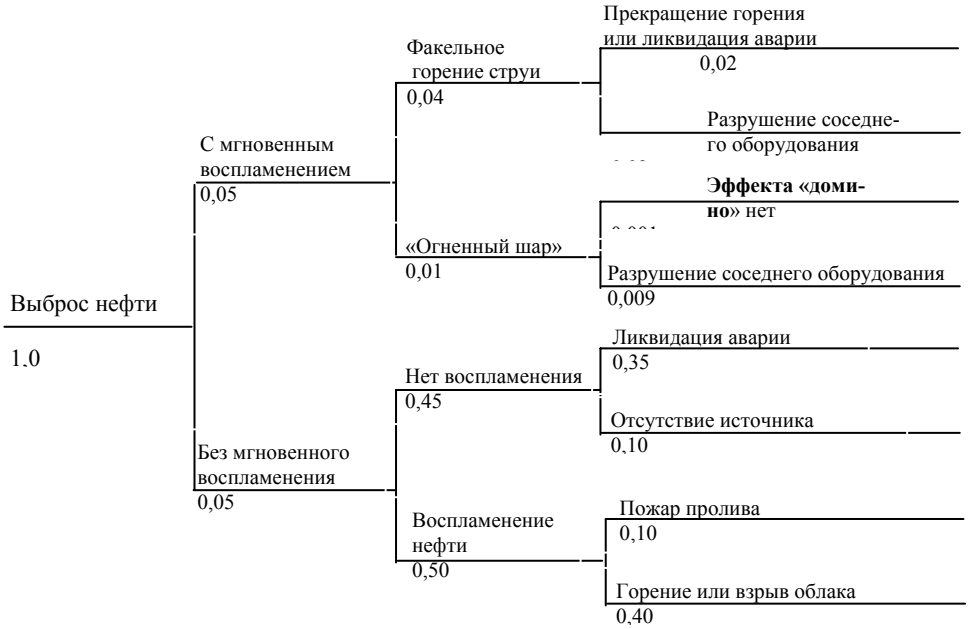


Рис 5.9. «Дерево событий» аварий на установке первичной переработки нефти

Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения инициирующего события

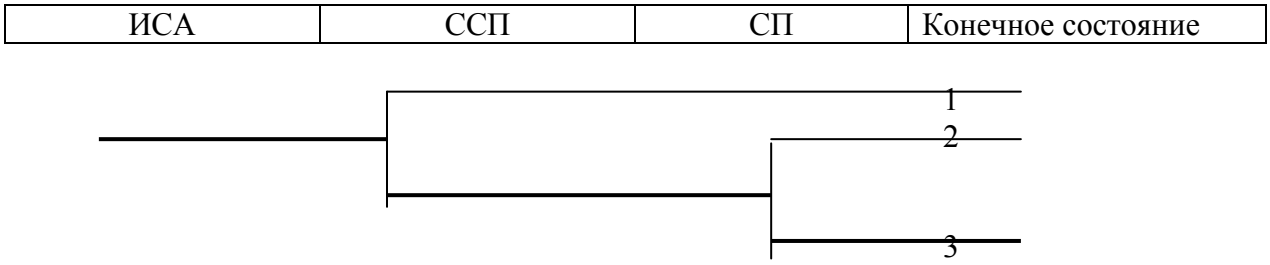
(выброс нефти из резервуара) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

Дерево событий начинается с единственного анализируемого события в корне дерева, называемого конечным событием. На следующем уровне появляются события, которые могут вызвать конечное событие, аналогично дерево продолжается. Дерево оканчивается, когда оно доходит до уровня отказов элементов.

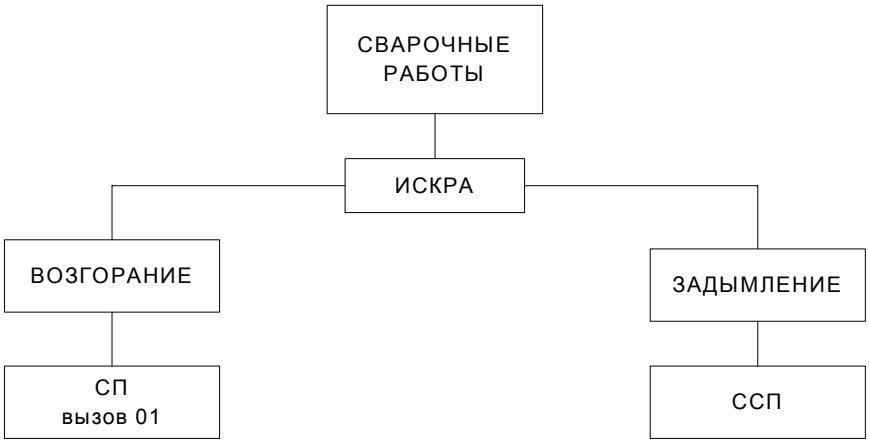
Анализ «дерева событий» – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийная ситуация). Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается умножением частоты основного события на вероятность конечного события.

Пример 5.5. При построении «дерева событий» для определения безопасности выполнения сварочных работ исходное событие аварии (ИСА)– искра, вызывающая возгорание. В случае возникновения задымления в помещении автоматически срабатывает спринклерная система пожаротушения (ССП). При большом очаге пожара необходимо в соответствии с инструкцией включить систему пожаротушения (СП) и вызвать пожарных. Возможное «дерево событий» представлено на рис.5.10, где «ступенька» верх означает срабатывание соответствующей системы, а «ступенька» вниз –ее отказ.

Анализ конечных условий показывает, что состояние под номером 3, связано с тяжелыми последствиями, поэтому путь, приводящий к конечному состоянию 3, является аварийным. Если известны вероятность наступления ИСА и вероятность отказов ССП и СП, то с помощью методов теории вероятностей можно рассчитать риск пожара с тяжелыми последствиями.



а)



б)

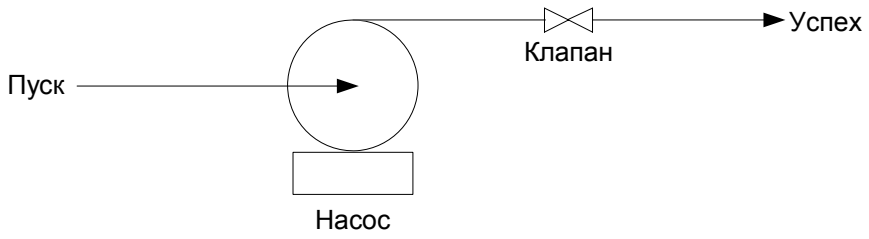
Рис.5.10. Дерево событий при выполнении сварочных работ:
а) – принципиальная схема; *б*) – диаграмма событий

Постулируя очередное ИСА, аналогичным образом строится соответствующее «дерево событий», определяются возможные аварийные цепочки и вычисляется вероятность их реализации. В окончательном виде величина риска $R=\Sigma\, r_i$, где r_i – вероятность реализации i-й аварийной цепочки.

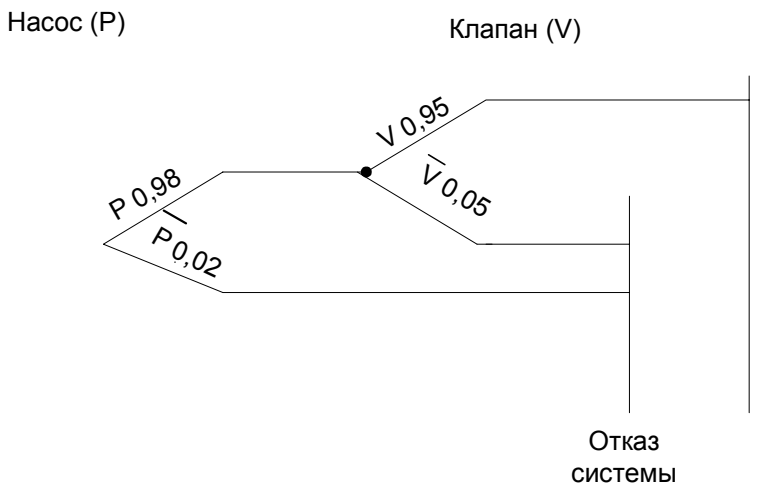
Пример 5.6. На рис. 5.11 показана система последовательно соединенных элементов, которая включает насос и клапан, имеющие соответственно вероятности' безотказной работы 0,98 и 0,95, а также приведено дерево решений для этой системы.

Согласно принятому правилу верхняя ветвь соответствует желательному варианту работы системы, а нижняя - нежелательному. Дерево решений читается слева направо. Если насос не работает, система отказывает независимо от состояния клапана. Если насос работает, с помощью второй узловой точки изучается ситуация, работает ли клапан.

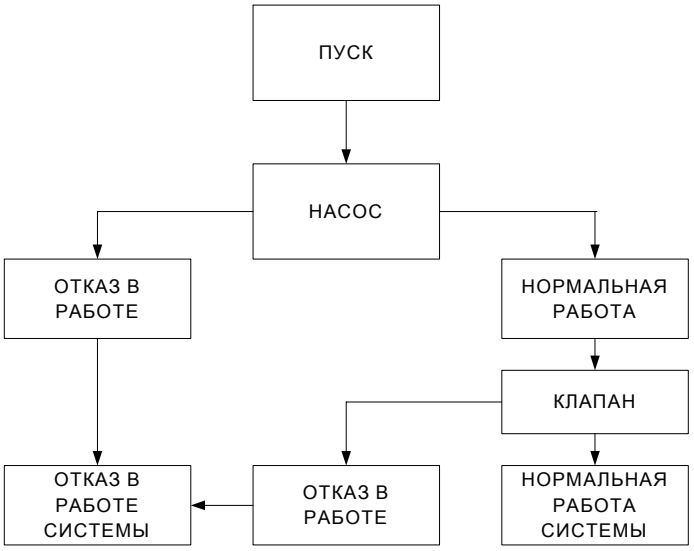
Вероятность безотказной работы системы 0,98 × 0,95 = 0.931. Вероятность отказа 0.98 × 0.05 + 0.02 = 0,069, и суммарная вероятность двух состояний системы равна единице.



а)



б)



в)

Рис.5.11. Дерево решений для двухэлементной схемы (работа насоса):

а) – принципиальная схема; *б*) – дерево решений; *в*) - диаграмма решений

Этот результат можно получить другим способом с помощью таблицы истинности (табл.5.6).

Таблица 5.6

Таблица истинности

Состояние насоса	Состояние клапана	Вероятность работоспособного состояния системы	Вероятность отказа системы
Работает	Работает	0,98 ×0,95	-
Отказ	Работает	-	0,02 ×0,95
Работает	Отказ	-	0,98 ×0,05
Отказ	Отказ	-	0,02 ×0,05
Суммарная величина		0,931	0,069

Методы анализа деревьев – наиболее трудоемки, они применяются для анализа проектов или модернизации сложных технических систем и производств и требуют высокой квалификации исполнителей.

5.4.Количественные методы анализа опасностей и риска

Анализ опасностей имеет дело с потенциальными повреждающими факторами и потенциальными авариями или несчастными случаями.

Количественный анализ опасностей дает возможность определить вероятности аварий и несчастных случаев, величину риска, величину последствий. Методы расчета вероятностей и статистический анализ являются составными частями количественного анализа опасностей. Установление логических связей между событиями необходимо для расчета вероятностей аварии или несчастного случая.

При анализе опасностей сложные системы разбивают на подсистемы. Подсистемой называют часть системы, которую выделяют по определенному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам функционирования системы. Подсистема может рассматриваться как самостоятельная система, состоящая из других подсистем, т.е. иерархическая структура сложной системы может состоять из подсистем различных уровней, где подсистемы низших уровней входят составными частями в подсистемы высших уровней. В свою очередь, подсистемы состоят из компонентов – частей системы, которые рассматриваются без дальнейшего деления как единое целое.

Логический анализ внутренней структуры системы и определение вероятности нежелательных событий E как функции отдельных событий E_i являются одной из задач анализа опасностей.

Через $P\{E_i\}$ будем обозначать вероятность нежелательного события E_i.

Для полной группы событий

$$\sum_{i=1}^{n} P\{E\} = 1.$$

Для равновозможных событий ($P\{E_i\} = p$, $i = 1,2,\ldots,n$), образующих полную группу событий, вероятность равна

$$p = 1/n.$$

Противоположные события E_i и ($-E_i$) образуют полную группу, поэтому

$$P\{E\} = 1 - P\{-E\}.$$

На практике пользуются формулой объективной вероятности

$$P\{E\} = n_E/n,$$

где n и n_E – общее число случаев и число случаев, при которых наступает событие E.

Вероятность события E_1 при условии E_2 обозначают $P\{E_1|E_2\}$.

Если события E_1 и E_2 независимые, т.е. если $P\{E_1|E_2\} = P\{E_1\}$ и $P\{E_2|E_1\} = P\{E_2\}$, то

$$P\{E_1\, E_2\} = P\,\{E_1\}\cdot P\,\{E_2\}.$$

При n независимых событиях $E, E,\ldots,E_n$ получим

$$P\{\prod_{i=1,n} E_i\} = \prod_{i=1}^{n} P\{E_i\}.$$

Для компонентов системы и системы в целом

$$p_i = P\{E_i\};$$
$$q = P\{-E_i\} = 1 - p_i;$$
$$p = P\{E\};$$
$$q = P\{-E\} = 1 - p.$$

Логическая функция системы имеет вид

$$E = F(E_1, E_2, \ldots, E_n).$$

Применяя правила теории вероятностей, находят вероятность нежелательного события в виде функции опасности

$$p = F_p(p_1, p_2, \ldots, p_n).$$

Подсистемой «ИЛИ» называют часть системы, компоненты которой соединены последовательно (рис.5.12).

К нежелательному событию в такой подсистеме приводит отказ любого компонента подсистемы. Если E_j есть отказ j-го компонента, то отказ подсистемы «*ИЛИ*» есть событие:

$$E = E_1 + E_2 + \cdots E_n = \sum_{j=1,m} E_j,$$

где m – число компонентов.

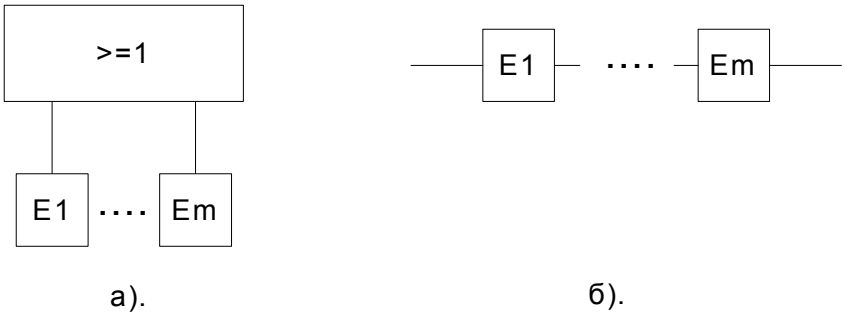


Рис.5.12. Символическое изображение подсистемы *«ИЛИ»*:
а) графический символ; б) развернутая схема

Если отказы компонентов взаимно независимы, то вероятность отказа в подсистеме “*ИЛИ*”:

$$P\{\underset{j=1,m}{\Sigma} E_j\} = 1 - \underset{j=1,m}{P}\{\Pi\,(-E_j)\} = 1 - \prod_{j=1}^{m}(1 - P\{E_j\}).$$

Для равновозможных отказов вероятность отказа в этой подсистеме:

$$P\{E\} = 1 - (1 - p)^m.$$

Это выражение свидетельствует о высокой вероятности отказа в случае сложных систем. Например, при вероятности отказа компонента $p = 0{,}1$ подсистема «*ИЛИ*», состоящая из 10 компонентов ($m = 10$), имеет вероятность того, что отказа в подсистеме не произойдет, равную

$$(1 - p)^m = 1 - P\{E\} = (1 - 0{,}1)^{10} \approx 0{,}35.$$

Подсистемой «И» называют ту часть системы, компоненты которой соединены параллельно (рис.5.13).

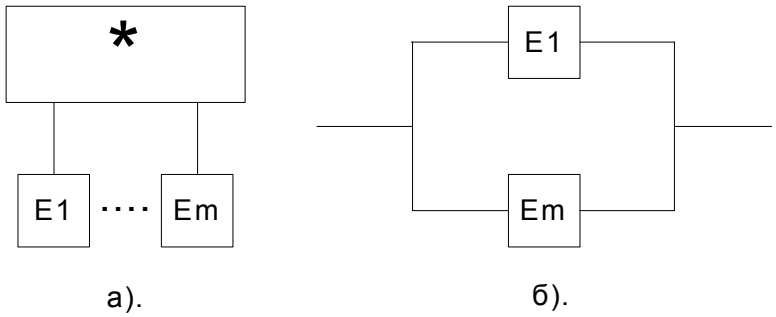


Рис.5.13. Символическое изображение подсистемы *«И»*:
а) графический символ; б) развернутая схема

К отказу такой подсистемы приводит отказ всех ее компонентов:

$$E = E_1 * E_2 * \ldots * E_m = \underset{j=1,m}{\Pi} E_j.$$

Если отказы компонентов можно считать взаимно независимыми, то вероятность отказа в подсистеме «*И*»

$$P\{E\} = \prod_{j=1}^{m} P\,\{E_j\}.$$

На практике подсистемой «*И*» является операция резервирования, которую применяют, когда необходимо достичь высокой надежности системы, если имеется опасность аварии.

Итогом анализа опасностей на этом этапе являются следующие выводы:

1. Любые действия персонала, операции, устройства, которые с точки зрения безопасности выполняют одни и те же функции в системе, могут считаться соединенными параллельно.
2. Любые действия персонала, операции, устройства, каждое из которых необходимо для предотвращения нежелательного события (аварии, несчастного случая), должны рассматриваться как соединенные последовательно.
3. Для уменьшения опасности системы необходимо предусмотреть резервирование, учитывая при этом экономические затраты.

Подсистемой «И – ИЛИ» называют ту часть системы, которая соединяет подсистемы «*ИЛИ*» в подсистему «*И*» (рис.5.14).

Параллельно соединенные компоненты E_i (i = 1, 2,…, m), образующие подсистему «*И*», представляют собой подсистемы «*ИЛИ*», состоящие из последовательно соединенных компонентов E_j (j = 1, 2,…, n).

Вероятность отказа i-й подсистемы «*ИЛИ*»:

$$P\{E_i\} = 1 - \prod_{j=1}^{n} (1 - P\{E_{ij}\}).$$

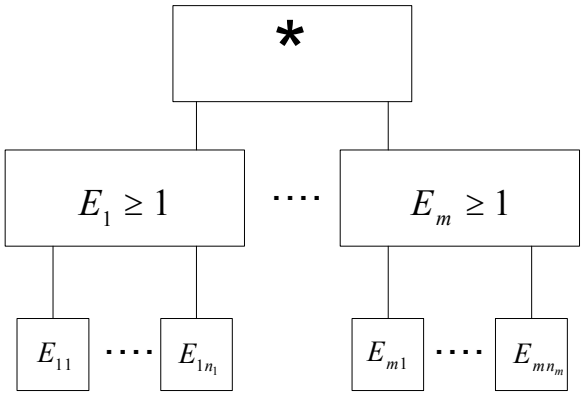


Рис.5.14. Символическое представление подсистемы *«И-ИЛИ»*

С учетом соотношения для вероятности подсистемы «*И*» находим вероятность отказа подсистемы «*И - ИЛИ*»:

$$P\{E\} = \prod_{i=1}^{m} [1 - \prod_{j=1}^{n} (1 - P\{E_{ij}\})].$$

Подсистемой «ИЛИ – И» в системе называют подсистемы «*И*», соединенные в подсистему «*ИЛИ*» (рис.5.15).

Последовательно соединенные компоненты E_i (i =1, 2,…, m), образующие подсистему «*ИЛИ*», представляют собой подсистемы «*И*» из параллельно соединенных компонентов E_j (j =1, 2,…, n).

Вероятность отказа j -й подсистемы «*И*»:

$$P\{E_i\} = \prod_{j=1}^{n} P\{E_{ij}\}.$$

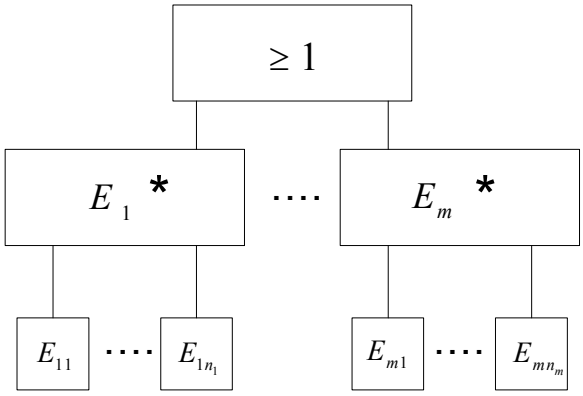


Рис.5.15. Символическое представление подсистемы «*ИЛИ-И*»

Используя соотношение для вероятности подсистемы «*ИЛИ*», находим вероятность отказа подсистемы «*ИЛИ – И*»:

$$P\{E\}_{i=1}^{m} = 1 - \prod_{j=1}^{n}[1 - \Pi\, P\{E_{ij}\}].$$

Для численной оценки риска используют различные математические формулировки.

Обычно при оценке риска его характеризуют двумя величинами – вероятностью события P и последствиями X, которые в выражении математического ожидания выступают как сомножители:

$$R = P \cdot X.$$

По отношению к источникам оценка риска предусматривает разграничение нормального режима работы $R_н$ и аварийных ситуаций $R_{ав}$:

$$R = R_н + R_{ав} = P_н \cdot X_н + P_{ав} \cdot X_{ав}.$$

В случае, когда последствия неизвестны, то под риском понимают вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$_{i=1}^{n} R = \Sigma P_i.$$

При необходимости можно использовать определение риска как вероятности превышения предела x:

$$R = P\{\xi > x\},$$

где ξ - случайная величина.

Техногенный риск оценивают по формуле, включающей как вероятность нежелательного события, так и величину последствий в виде ущерба U:

$$R = P \cdot U.$$

Если каждому нежелательному событию, происходящему с вероятностью P_i, соответствует ущерб U_i, то величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба U_*:

$$R = U_* = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot U_i.$$

Если все вероятности наступления нежелательного события одинаковы ($P_i = P$, $i = 1, n$), то следует

$$R = P \sum_{i=1}^{n} U_i.$$

Когда существует опасность здоровью и материальным ценностям, риск целесообразно представлять в векторном виде с различными единицами измерения по координатным осям:

$$\vec{R} = \vec{U} \cdot \vec{P}.$$

Перемножение в правой части этого уравнения производится покомпонентно, что позволяет сравнивать риски.

Индивидуальный риск можно определить как ожидаемое значение причиняемого ущерба U_* за интервал времени T и отнесенное к группе людей численностью M человек:

$$R = U_*/(M \cdot T).$$

Общий риск для группы людей (коллективный риск)

$$R = U_*/T.$$

Пример 5.7. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 3-х подсистем с независимыми отказами. Вероятности отказов подсистем: $P_1 = 10^{-3}$, $P_2 = 10^{-4}$, $P_3 = 10^{-2}$, ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 = 10 \cdot 10^6$ руб., $U_2 = 50 \cdot 10^6$ руб., $U_3 = 5 \cdot 10^6$ руб.

Решение:

Определим величину риска чрезвычайного происшествия технической системы как ожидаемую величину ущерба:

$$R = U = \sum_{i=1}^{3} P_i U_i = P_1U_1 + P_2U_2 + P_3U_3 = 10^{-3}(10 \cdot 10^6) + 10^{-4}(50 \cdot 10^6) +$$

$$+ 10^{-2}(5 \cdot 10^6) = 65\ 000 \text{ руб.}$$

Пример 5.8. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 5-и подсистем с независимыми равновозможными отказами $P = 10^{-2}$. Ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 = 5 \cdot 10^6$, $U_2 = 10 \cdot 10^6$, $U_3 = 20 \cdot 10^6$, $U_4 = 15 \cdot 10^6$, $U_5 = 25 \cdot 10^6$.

Решение:

Определим величину риска чрезвычайного происшествия технической системы с равновозможными отказами подсистем как ожидаемую величину ущерба:

$$R = U = P \sum_{i=1}^{5} U_i = P\,(U_1+U_2+U_3+U_4+U_5) = 10^{-2}(5 + 10 + 20 + 15 + 25)10^6 =$$

$$= 750\ 000 \text{ руб.}$$

5.5.Критерии приемлемого риска

Концепция абсолютной безопасности недавнего времени была фундаментом, на котором строились нормативы безопасности во всем мире. Для предотвращения аварий внедрялись дополнительные технические устройства – инженерные системы безопасности, принимались организационные меры, обеспечивающие высокий уровень дисциплины, строгий регламент работы. Считалось, что такой инженерный, детерминистский подход позволяет исключить любую опасность для населения и окружающей среды.

До последнего десятилетия этот подход был оправдан. Однако сегодня из-за беспрецедентного усложнения производств и появления принципиально новых технологий, возросшей сети транспортных и энергетических коммуникаций, концепция абсолютной безопасности стала неадекватна внутренним законам техносферы и биосферы.

Любая деятельность человека, направленная на создание материальных благ, сопровождается использованием энергии, взаимодействием его со сложными техническими системами, а состояние его защиты и окружающей среды оценивается не показателями, характеризующими состояние здоровья и качество окружающей среды, а надежностью и эффективностью технических систем безопасности, и, следовательно, носит чисто отраслевой, инженерный характер. К тому же ресурсы любого общества ограничены. Если продолжать вкладывать все больше и больше средств в технические системы предотвращения аварий, то будем вынуждены урезать финансирование социальных программ, чем сократим среднюю продолжительность жизни человека и снизим её качество.

Поэтому сообщество пришло к пониманию невозможности создания “абсолютной безопасности” реальной действительности, и следует стремиться к достижению такого уровня риска от опасных факторов, который можно рассматривать как “приемлемый”. Его приемлемость должна быть обоснована исходя из экономических и социальных соображений. Это означает, что уровень риска от факторов опасности, обусловленных хозяйственной деятельностью, является “приемлемым”, если его величина (вероятность реализации или возможный ущерб) настолько незначительна, что ради получаемой при этом выгоды в виде материальных и социальных благ, человек или общество в целом готово пойти на риск.

Во всех развитых в промышленном отношении странах существует устойчивая тенденция применения концепции приемлемого риска, но политика России, более чем в других странах, основана на концепции абсолютной безопасности.

Поэтому, оценивая приемлемость различных уровней экономического риска на первом этапе, можно ограничиться рассмотрением риска лишь тех вредных последствий, которые, в конечном счете, приводят к смертельным исходам, поскольку для этого показателя достаточно надежные статистические данные. Тогда, например, понятие “экологический риск” может быть сформулировано как отношение величины возможного ущерба, выраженного в числе смертельных исходов от воздействия вредного экологического фак-

тора за определенный интервал времени к нормированной величине интенсивности этого фактора.

Таким образом, главное внимание при определении экологического и социального риска должно быть направлено на анализ соотношения вредных социальных и экологических последствий, заканчивающихся смертельными исходами, и количественной оценки как суммарного вредного социального и экологического воздействия, так и его компонентов.

Общественная приемлемость риска связана с различными видами деятельности и определяется экономическими, социальными и психологическими факторами.

Приемлемый риск - это такой низкий уровень смертности, травматизма или инвалидности людей, который не влияет на экономические показатели предприятия, отрасли экономики или государства.

Необходимость формирования концепции приемлемого (допустимого) риска обусловлена невозможностью создания абсолютно безопасной деятельности (технологического процесса).

Экономические возможности повышения безопасности технических систем не безграничны. Так, на производстве, затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности технических систем, можно нанести ущерб социальной сфере производства (сокращение затрат на приобретение спецодежды, медицинское обслуживание и др.).

Пример определения приемлемого риска представлен на рис.5.16.

При увеличении затрат на совершенствование оборудования технический риск снижается, но растет социальный. Суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферу. Это обстоятельство надо учитывать при выборе приемлемого риска. Подход к оценке приемлемого риска очень широк.

При определении социально приемлемого риска обычно используют данные о естественной смертности людей.

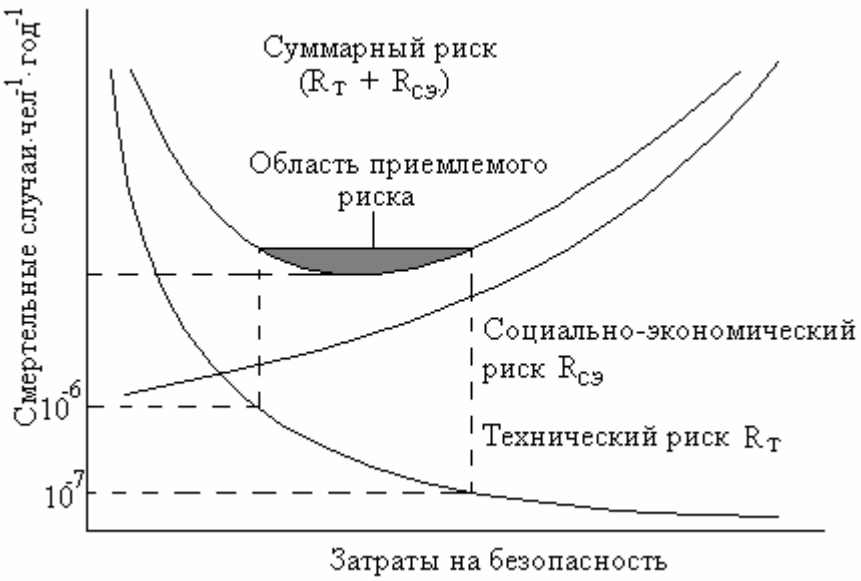


Рис.5.16. Определение приемлемого риска

В качестве реперного значения *абсолютного риска* принимают величину летальных исходов (ЛИ):

$$R_А = 10^{-4} \text{ ЛИ/(чел·год)}.$$

В качестве реперного значения допустимого (приемлемого) риска при наличии отдельно взятого источника опасности принимают:

$$R_Д = 10^{-5} \text{ ЛИ/(чел·год)};$$

$$R_Д = 10^{-4}\ldots10^{-3} \text{ НС/(чел·год)},$$

где НС – случаи нетрудоспособности.

Для населения величина дополнительного риска, вызванного техногенными причинами, не должна превышать реперное значение абсолютного риска:

$$R \le R_А.$$

Для отдельно взятого источника опасности, учитывая, что индивидуальный риск зависит от расстояния $R = R(r)$, условие безопасности можно записать в виде:

$$R(r) \le R_Д.$$

В настоящее время по международной договоренности принято считать, что действие техногенных опасностей (технический риск) должно находится в пределах от $10^{-7} – 10^{-6}$ (смертельных случаев чел$^{-1}$·год$^{-1}$), а величина 10^{-6} является максимально приемлемым уровнем индивидуального риска. В национальных правилах эта величина используется для оценки пожарной безопасности и радиационной безопасности.

Приемлемый риск сочетает в себе технические, экологические, социальные аспекты и представляет некоторый компромисс между приемлемым уровнем безопасности и экономическими возможностями его достижения, т.е. можно говорить о снижении индивидуального, технического или экологического риска, но нельзя забывать о том, сколько за это придется заплатить и каким в результате окажется социальный риск.

В связи со сложностью расчетов показателей риска, недостатком исходных данных (особенно по надежности оборудования, человеческим ошибкам) на практике часто используются методы анализа и критерии приемлемого риска, основанные на результатах экспериментальных оценок специалистов. В этом случае рассматриваемый объект обычно ранжируется по степени риска на четыре (или больше) группы с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска считается, как правило, неприемлемым, промежуточный требует выполнения программы работ по уменьшению уровня риска, низкий считается приемлемым, а незначительный вообще не рассматривается, как не заслуживающий внимания.

Есть все основания считать, что из всех возможных подходов к объективному определению приемлемого риска техногенных воздействий на человеческое общество в целом или на население какого-либо региона следует выбирать экологический подход, который в качестве объекта опасности рассматривает не только человека, а весь комплекс окружающей его среды. Остальные подходы, особенно социальный, экономический, технический не лишены известного произвола, связанного с внеэкологическими потребностями и интересами общества. Они в той или иной степени компромиссны.

Таким образом, основным требованием к выбору критерия приемлемого риска при проведении анализа риска является не его строгость, а обоснованность и определенность.

6.ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РИСКА

6.1.Оценка риска технической системы

Для прогнозирования и оценки риска применяются различные методы сетей, графов, дерева причинно-следственной связи и т. п. В методических указаниях Госгортехнадзора РФ приведены характеристики качественных и количественных методов, наиболее используемых при анализе риска. В указаниях отмечена сложность реализации количественных методов и невысокая точность результатов. Однако необходимость иметь количественные показатели риска при прогнозировании объектов, оценке воздействия опасных факторов, определении приоритета защитных мероприятий требует дальнейшей разработки количественных методов оценки риска. Относительно просто и наглядно прогнозирование индивидуального и социального риска может быть представлено с помощью математической вероятностной модели с использованием ЭВМ. Рабочее пространство - площадка рабочего помещения предприятия предполагается прямоугольной формы с размерами: длина (вдоль оси X) и ширина (вдоль оси Y). За начало координат принят угол площадки, отображаемый на экране ЭВМ слева, внизу. Все параметры имеют единую размерность (м). Производственный агрегат (источник опасности) принимается в виде точки центр агрегата с координатами (X, Y).

Вероятность аварии рассчитывается так же, как для сложного объекта, в работе которого – N_c этапов с задействованием N_{ci} систем на i-м этапе. Причём каждой j-й системе соответствует вероятность её отказа $P(G_{ij})$. Каждая система может иметь отказы при работе в разных комбинациях, как это представлено на рис. 6.1. Для каждой такой комбинации определяется вероятность возникновения аварии.

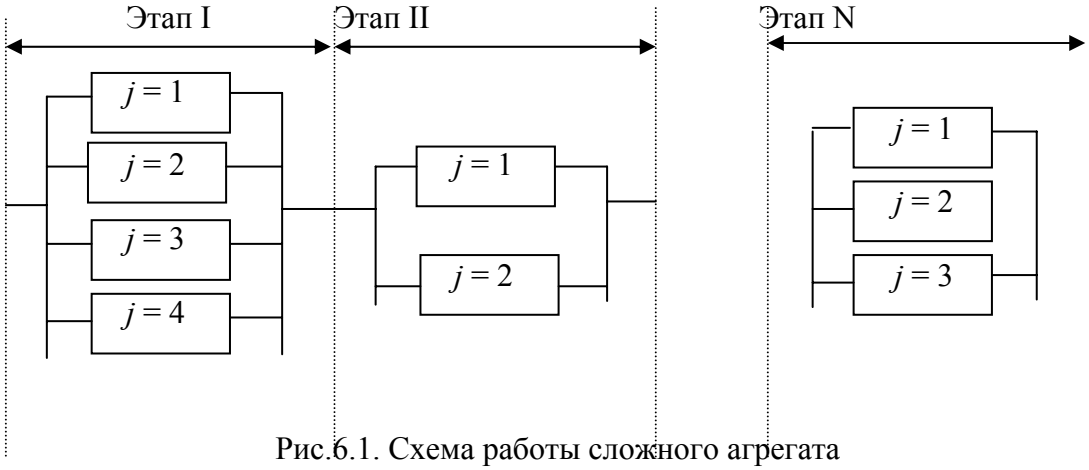


Рис.6.1. Схема работы сложного агрегата

Так, в работе автомобиля можно выделить этапы: подготовка к движению, движение автомобиля и т.д. На этапе подготовки (j) задействована комбинация из четырёх систем – коробки передач (j = 1), стартёра (j =2), зажигания (j =3) и подачи топлива (j =4). На этапе движения автомобиля (i =2) работает комбинация из пяти систем – коробки передач (j =1), зажигания (j =2), подачи топлива (j =3), рулевого управления (j = 4) и тормозной системы (j =5). Этапы работы агрегата принимаются независимыми друг относительно друга.

Вероятность аварии на объекте будет:

$$P(A)=\sum_{i=1}^{N_e}\sum_{k=0}^{N_{Ki}-1}\left[P(A_{iK})\prod_{j=0}^{N_{Si}-1}\begin{cases}P(G_{ij}),S_k^j=0\\1-P(G_{ij}),S_k^j=1\end{cases}\right],$$

где $P(A_{ik})$ – вероятность аварии агрегата при k-й комбинации работы систем на i-м этапе; $P(G_{ij})$ – вероятность отказа j-й системы на i-м этапе.

Опасная зона, характеризующая воздействие опасных факторов на человека, имеет центр в точке нахождения агрегата (X_A, Y_A) и считается экспоненциально распределённой с параметром λ.

Такое распределение достаточно хорошо описывает картину аварийной ситуации, так как именно по такому закону затухает скорость разлетающихся обломков, происходит диффузия токсичных паров и газов и т.д. Формула для определения вероятности воздействия опасных факторов:

$$R_A(x,y)=P(A)R(x,y)=P(A)\lambda e^{-\lambda r},$$

где $r=\sqrt{(x-X)^2+(y-Y)^2}$; $R(x,y)$ – вероятность воздействия поражающего фактора в точках (x,y) при аварии.

Персонал объекта имеет численность N_W, у каждого сотрудника есть рабочее место с координатами (X_k, Y_k). Поле распределения персонала в рабочем помещении около источника опасности задаётся нормальным распределением с параметром σ_k. Это подтверждается многолетними исследованиями. Вероятность нахождения k-го сотрудника в точках (x, y):

$$P_{WK}(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_k^2}e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-X_k)^2}{\sigma_k^2}+\frac{(y-Y_k)^2}{\sigma_k^2}\right]}.$$

В соответствии с этим индивидуальный риск рассчитывается по формуле

$$R_k=\sum_{x_i}\sum_{y_i}P_{WK}(x_i,y_i)R_A(x_i,y_i),$$

где x_i, y_i определяются экранным растром как сетка с шагом h:

$$h=\frac{\max(L,H)}{100},$$

где L – длина; H – ширина рабочей площади.

Социальный риск, т.е. вероятность гибели n человек, задаётся зависимостью:

$$R_n=\sum_{k=1}^{N_W}\left[\sum_{x_i}\sum_{y_i}P_{WK}(x_i,y_i)R_A(x_i,y_i)\right].$$

Для расчёта индивидуального и социального риска на промышленном предприятии на основе представленной математической модели необходимы исходные данные для расчета. Эти данные принимаются с учётом специфики рассматриваемого производственного объекта и включают:

1. размеры рабочей площади (длина, ширина);
2. координаты:

- агрегата (источника опасности) X и Y;

- рабочего места каждого сотрудника (X_k, Y_k);

3. количество:

- сотрудников N_w;

- этапов в работе агрегата N_c;

- систем N_{si}, работающих на i-м этапе;

- временных отсутствий сотрудников на рабочем месте σ_k;

4. вероятность:

- отказа агрегата $P(A_{ik})$ при k-й комбинации отказов на i-м этапе;

- параметр распределения опасной зоны λ.

На основе заданных параметров и принятых математических зависимостей рассчитывают: вероятность аварии на ОПО, распределение персонала и опасной зоны по объекту, а также индивидуальный и социальный риски. Результаты расчёта выводятся на экран монитора в графической форме в виде распределения риска персонала и опасных зон по рабочей площади.

Направлением развития рассматриваемого вероятностного метода следует считать исследование изменений параметра опасной зоны λ, характеризующего воздействие опасных факторов (ударная волна, диффузия токсичных веществ, разлёт осколков при взрыве и т.п.), а также уточнение параметра экспоненциального распределения по фактическим данным о параметре опасной зоны.

Предлагаемый метод анализа риска позволяет прогнозировать распределение опасных зон при аварии; работников на объекте при аварии (вероятностное); индивидуального и социального рисков для работников на производственной площади (закономерность).

Прогнозирование риска даёт возможность информировать работников о риске, повышать эффективность разрабатываемых мер защиты персонала при аварии, а также предотвращать негативные последствия аварий.

6.2.Применение теории риска в технических системах строительной отрасли

Проектирование сложных технических систем и конструкций выполняется на основе численных методов (например, строительной механики) с использованием ЭВМ. Однако вычисленные на основе таких расчетов параметры и характеристики (например, усилия) следует рассматривать как приближенные, которые отличаются от действительных. Отклонения расчетных параметров от действительных представляют собой случайные величины, которые зависят от условий задачи.

Путем применения теории риска можно оценить неточности, возникающие при расчете и проектировании конструкций. Вероятностный метод вычисления риска позволяет получить новую информацию о том, какое влияние на величину риска оказывают разные источники неопределенности в процессе расчета и проектирования конструкции и как это отражается на окончательном проекте.

Однако при использовании численных методов возникают неточности расчета, оценка которых приобретает особое значение при определении вероятного риска.

В инженерных задачах исходные данные часто бывают далеко не полными. Так, например, величина внешних сил изменяется во времени, свойства материала, из которого сделана конструкция, также определяются как средние и имеют разброс, коэффициент надежности может быть определен вероятностным методом. Возникают термины “допустимый предел”, “инженерное решение”, которые подтверждают отсутствие достаточной точности в исходных данных. В результате для описания вероятности разрушения конструкции возникает понятие “риск”, которым характеризуют полученное решение.

В состав крупных сооружений входят объекты, имеющие различную степень ответственности в обеспечении безопасности, например в гидротехническом узле наиболее ответственным объектом является плотина, менее ответственными – здания, трубопроводы и т.д. Однако желательно принимать для всех объектов одинаковую меру риска. Принцип сбалансированного риска требует, чтобы все объекты, входящие в состав сооружения, проектировались на одинаковую степень риска.

При решении многих инженерных задач приходится определять риск, который возникает как результат облегчения той или иной конструкции. Риск определяется на основе обработки статистическими методами большого числа наблюдений. Величина риска зависит от ожидаемой выгоды. Как правило, повышение величины риска приводит к снижению расходов на создание конструкции и увеличению ожидаемой выгоды. Но вместе с тем это повышение может повлечь за собой разрушение конструкций в более короткий срок. Поэтому определение принимаемой величины риска является весьма ответственной задачей, которая может быть правильно решена только путем проведения глубокого статистического анализа. Функциональная зависимость между величиной риска и ожидаемой выгодой выражается нелинейным законом.

Рассмотрим подробнее физический смысл числового выражения риска. Наиболее полные статистические данные имеются для риска, которым характеризуются несчастные случаи в разных областях производства. Так, например, риск, характеризуемый числом 10^{-3} случаев на одного человека в год, является совершенно неприемлемым. Уровень риска 10^{-4} требует принятия мер и может быть принят только в том случае, если другого выхода нет. По данным, приведенным в работах американских ученых, риск в автомобильных авариях достигает уровня $2{,}8\cdot10^{-4}$. Уровень риска 10^{-5} соответствует естественным случайным событиям, как, например, несчастным случаям при купании в море, для которых риск исчисляется $3{,}7\cdot10^{-5}$. Несчастные случаи, обусловленные риском 10^{-6}, относятся к такому уровню, на который имеется более спокойная реакция, так как считается, что избежать этого риска может каждый, соблюдая элементарные правила предосторожности.

Аналогичным образом величина риска может быть установлена и для каждой конструкции с учетом срока службы, ее значения для общей прочности всего сооружения, а также стоимости, срока восстановления и т.д.

Очень часто для оценки риска принимается частота возникновения аварийных ситуаций, например, число случаев разрушения плотин в год и их негативные последствия - число несчастных случаев, которые вызваны этой аварией.

При проектировании принимаются решения, которые могут увеличить или уменьшить величину риска в процессе эксплуатации конструкции. Для того чтобы оценить влияние неточностей, допущенных при проектировании, следует для данной конструкции оценить вероятные пути, в результате которых может произойти разрушение. Для простейшей конструкции очень часто можно предвидеть единственный путь вероятного разрушения и тогда задача упрощается. Однако для сложных конструкций и сооружений разрушение может развиваться разными путями, имеющими присущую им вероятность.

Коэффициент надежности вычисляется для каждой намеченной схемы разрушения по формуле

$$F_{rf} = \prod_{i=1}^{n} (R_i)^i ,$$

где R_i – множитель, характеризующий коэффициент надежности для каждой схемы.

Зависимость между вероятностью P разрушения, выраженной в процентах, и коэффициентом надежности F получается в виде: P =10 % – F =3,5;
P =1 % – F =10; P =0,1 % – F =20.

Вероятность того, что разрушение произойдет по выбранной последовательности событий D, вычисляется по формуле

$$P_D = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i)^{m_j} ,$$

где m_j – число участков для выбранной схемы разрушения.

Величина риска для механических систем, находящихся под воздействием внешних сил и температуры, существенно влияет на условия разрушения конструкций, поэтому необходимо изучить и эти условия. Для того чтобы установить критическое состояние, соответствующее катастрофическому разрушению конструкции, необходимо рассмотреть вызывающие его причины.

Обычно критерием разрушения считают предельную нагрузку или повторяющуюся нагрузку, в результате которой возникает эффект усталости или развитие пластических деформаций. Нередко оба эти критерия объединяются. Для определения вероятности разрушения конструкции в качестве основного показателя принимается ожидаемое число N повторений нагрузки в течение срока эксплуатации конструкции и вводятся две функции, а именно функция надежности $L(N)$ и функция риска $P(N)$=[1–$L(N)$], которые выражают вероятность сохранности или разрушения конструкции в зависимости от условного “возраста” конструкции, характеризуемого числом N. Таким путем удается получить решение в указанных выше случаях.

Решая технические задачи, необходимо учитывать риск, возникающий в результате неточностей при выборе исходных данных, принятых в расчетах. При определении допускаемого риска необходимо учитывать вероятность благоприятного и неблагоприятного

результата в эксплуатационных условиях проектируемого технического объекта. Такой подход позволит принять сознательное окончательное решение при выборе оптимального варианта с учетом риска. Функциональная зависимость между величиной риска и ожидаемой выгодой выражается нелинейным законом, как это показано на рис.6.2.

Построенная на этом рисунке кривая делит координатную плоскость на две части. Справа от кривой расположены значения, которые могут быть при известных условиях приняты (эта область заштрихована). Точки, расположенные слева от кривой, относятся к неприемлемым значениям.

Величина риска определяется на основе общих математических методов: теории вероятностей, математической статистики и теории игр. Как правило, риск существует объективно независимо от того, учитывается он в проектах или нет.

Для измерения величины риска, соответствующего данному варианту решения, проектировщик должен исследовать влияние отдельных факторов, от которых зависит окончательное решение. Определение риска особое значение приобретает при проектировании новых сооружений и сложных агрегатов и обеспечивает общий технический прогресс. Правильное использование теории риска очень часто приводит к тому, что проектируемый объект может обойтись дешевле и принести дополнительные выгоды.

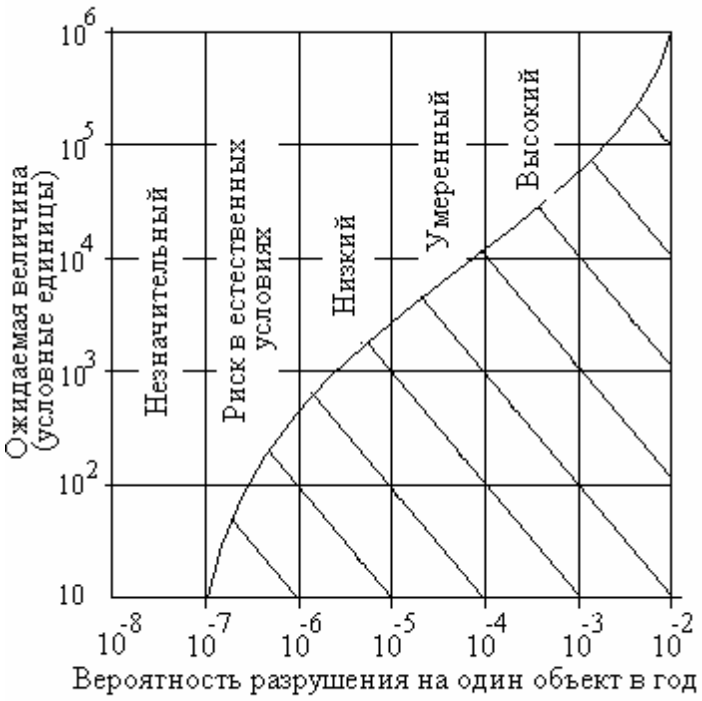


Рис.6.2. Зависимость величины риска от затрат

Очень часто понятие риска связывают с оценкой возможного ущерба. Однако при этом не учитывается возможная выгода, получаемая в результате принятого риска. Поэтому для правильного понимания существа вопроса рекомендуют определять риск как возможность отклонения принятого решения от той величины, которая соответствует условиям эксплуатации объекта.

В специальной литературе рассматривается также очень подробно экономический риск, связанный с планированием промышленного производства. Этот вид риска называют хозяйственным, он включает в определенной степени указанные выше виды риска. Величина хозяйственного риска определяется обычно на основании опыта прошлого путем соответствующей обработки накопленных статистических данных, которые экстраполируются на проектируемый объект. Однако построение логических схем на основе теоретических положений с использованием математических моделей очень часто помогает найти численное выражение для ожидаемого риска.

Стоимость сооружения тесно связана с принятой при проектировании величиной риска. При большом риске снижается стоимость первоначальных затрат на строительство сооружения, однако в дальнейшем при неблагоприятном стечении обстоятельств в сооружении могут возникнуть повреждения, ликвидация которых связана с дополнительными расходами. Малая величина риска, принятая при проектировании, потребует усиления конструкций, а это повышает стоимость сооружения. Если в процессе дальнейшей эксплуатации сооружения не произойдет неблагоприятного стечения обстоятельств, с расчетом на которые при строительстве выполнялись усиления конструкций для того, чтобы предотвратить повреждение их отдельных элементов, то первоначальное удорожание конструкций за счет их усиления оказывается не нужным. Таким образом, увеличение риска приводит к удешевлению конструкций, а снижение риска вызывает удорожание строительства.

6.3.Определение вероятности воздействия опасных факторов пожара (ОФП)

Нормативная вероятность $Q_в^н$ воздействия ОФП не должна превышать 10^{-6} в год в расчете на каждого человека.

Уровень обеспечения безопасности работающих при пожарах отвечает требованиям, если расчетная вероятность воздействия ОФП соответствует соотношению

$$Q_в \le Q_в^н,\ Q_в \le 10^{-6}.$$

Для эксплуатационных объектов (зданий, сооружений) расчетную вероятность $Q_в$ вычисляют с использованием статистических данных по формуле:

$$Q_в = 1{,}5\, M_ж / (T N_0),$$

где $M_ж$ – число жертв пожара в рассматриваемой однотипной группе зданий за период T; T – рассматриваемый период эксплуатации однотипных зданий, год; $N_о$ – общее число людей, находящихся в здании (сооружении).

Однотипными считаются здания с одинаковой категорией пожарной опасности (А, Б, В, Г, Д), одинакового функционального назначения и с близкими основными параметрами: геометрическими размерами, конструктивными характеристиками, количеством горючей нагрузки, вместимостью (числом людей в здании), производственными мощностями.

Для проектируемых объектов вероятность воздействия ОФП оценивают первоначально по формуле:

$$Q_в = Q_п (1 - P_{пз}),$$

где $Q_п$ – вероятность возникновения пожара в здании; $P_{пз}$ - вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты, вычисляется:

$$P_{пз} = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i),$$

где n – число технических решений противопожарной защиты зданий; R_i – вероятность эффективного срабатывания i-го технического решения, по данным ВНИИПО, R_i = 0,7 - 0,8.

Если не соблюдается условие $Q_в \le Q_в^н$, то необходимо расчет $Q_в$ выполнять с учетом вероятности $P_э$ эвакуации людей из здания по формуле:

$$Q_в = Q_п (1 - P_э) (1 - P_{пз});$$
$$P_э = 1 - (1 - P_{эп}) (1 - P_{дв}),$$

где $P_{эп}$ – вероятность эвакуации по эвакуационным путям; $P_{дв}$ – вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам и переходам в смежные секции зданий.

При наличии наружных эвакуационных лестниц и других путей $P_{дв}$ = 0,03, при отсутствии – $P_{дв}$ = 0,001.

Вероятность $P_{эп}$ вычисляют по зависимости:

$$P_{эп} = \begin{cases} (\tau_{бл} - t_р) / \tau_{нэ}, \text{ если } t_р < \tau_{бл} < t_р + \tau_{нэ}; \\ 0{,}999, \text{ если } t_р + \tau_{нэ} \le \tau_{бл}; \\ 0, \text{ если } t_р \ge \tau_{бл}, \end{cases}$$

где $\tau_{бл}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей, мин; определяется расчетом значений ОФП на эвакуационных путях в различные моменты времени; $t_р$ – расчетное время эвакуации, мин, определяется как сумма времени движения потока людей по отдельным участкам путей эвакуации; $\tau_{нэ}$ – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин (при наличии системы оповещения о пожаре $\tau_{нэ}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом её инерционности; при отсутствии необходимых исходных данных для его определения $\tau_{нэ}$ = 0,5 мин, если системы оповещения нет в этаже пожара, для вышележащих этажей $\tau_{нэ}$ = 2 мин, для залов $\tau_{нэ}$ = 0); $\tau_{бл}$ – допускается принимать равным необходимому времени эвакуации $t_{нб}$ (мин), которое зависит от категории пожара, системы оповещения помещения и его объема (табл. 6.1).

Допускается оценивать уровень обеспечения безопасности работающих в здании по значению вероятности в одном или нескольких помещениях, наиболее удаленных от выходов в безопасную зону (например, верхние этажи).

Таблица 6.1

Время эвакуации $t_{нб}$, мин

Категория	Объём помещения, м^3				
	до 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,5	0,75	1,0	1,5	1,75
$В_1$-$В_4$	1,25	2	2	2,5	3
Г, Д	не ограничивается				

Вероятность возникновения пожара в объекте $Q_п$

$$Q_{п} = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - Q_{ппi}),$$

где n – число помещений в объекте; $Q_{ппi}$ – вероятность возникновения пожара в i - помещении объекта в течение года.

Вероятность $Q_{п}$ на объекте определяется вероятностью возникновения пожара в одном j -м технологическом аппарате $Q_{а.п.j.}$ или вероятностью пожара непосредственно в объеме i-го помещения $Q_{п.о.i.}$:

$$Q_{п} = 1 - \prod_{i=1}^{n}\left[\left(1 - Q_{П.О.i}\right)\cdot\prod_{j=1}^{m}\left(1 - Q_{А.П.j}\right)\right],$$

где n – число помещений в объекте; m – число технологических аппаратов в помещении.

Вероятности $Q_{п.о.i.}$ $Q_{а.п.j}$ обусловлены вероятностью совместного образования в объеме помещения или в аппарате горючей смеси $Q_{г.с.i}$, $Q_{г.с.j}$ и появлением источника зажигания $Q_{и.з.i}$, $Q_{и.з.j}$:

$$Q_{п.о.i} = Q_{г.с.i} \cdot Q_{и.з.i}$$
$$Q_{а.п.j} = Q_{г.с.j} \cdot Q_{и.з.j}$$

Образование горючей смеси в элементе объекта обусловлено вероятностью совместного появления в нем достаточного количества горючего вещества $Q_{г.i}$, $Q_{г.j}$ и окислителя, $Q_{ок.i}$, $Q_{ок.j}$ с учетом параметров состояния (температуры, давления):

$$Q_{г.с.i} = Q_{г.i} \cdot Q_{ок.i}$$
$$Q_{г.с.j} = Q_{г.j} \cdot Q_{ок.j}.$$

Для производственных помещений можно принять $Q_{ок.i} = 1$.

Вероятность появления горючего вещества определяется вероятностью реализации одной из N причин нарушения технологического процесса $Q_{н.т.k.}$ (разгерметизация, химическая реакция и т.п.):

$$Q_{г.j} = 1 - \prod_{k=1}^{N}\left(1 - Q_{Н.Т.k.}\right)$$

Для эксплуатируемых объектов вероятность $Q_{н.т.k.}$ определяют на основе статистических данных.

Для проектируемых объектов:

$$Q_{н.т.k.} = 1 - \exp(-\lambda\cdot\tau),$$

где λ – интенсивность отказов оборудования, 1/час; τ – общее время работы оборудования за анализируемый период, час.

Вероятность появления источника зажигания на объекте:

$$Q_{и.з.} = Q_{т.и.} \cdot Q_{и.э.} \cdot Q_{и.в.},$$

где $Q_{т.и.}$ – вероятность появления теплового источника; $Q_{и.э}$ – вероятность того, что энергия источника достаточна для зажигания горючей смеси; $Q_{и.в}$ – вероятность того, что время контакта источника со средой достаточно для ее воспламенения.

Пример.6.1. Рассчитать вероятность возникновения пожара от емкостного пускорегулирующего аппарата (ПРА) для люминесцентных ламп на W =40 Вт и U =220 В.

Данные для расчета приведены в табл.6.2.

Расчет.

ПРА является составной частью изделия с наличием вокруг него горючего материала (компаунд, клеммная колодка); произведение вероятностей Q (ПР)×Q (НЗ) обозначим через Q (a_i); тогда можно записать

$$Q_a = Q(B)\left[\sum_{i=1}^{k} Q(a_i)\cdot Q(T_i)\right].$$

Таблица 6.2

Результаты испытаний емкостного ПРА

Температура оболочки в наиболее нагретом месте при работе в аномальных режимах, К			
Например	Длительный пусковой режим	Режим с короткозамкнутым конденсатором	Длительный пусковой режим с короткозамкнутым конденсатором
T σ	375 6,80	380 5,16	430 7,38

где $Q_п$ – нормативная вероятность возникновения пожара при воспламенении аппарата, равна 10^{-6};

$Q(B)$ – вероятность воспламенения аппарата или выброса из него пламени при температуре поверхности ПРА (в наиболее нагретом месте), равной или превышающей критическую;

$Q(a_i)$ – вероятность работы аппарата в i–м (пожароопасном) режиме;

$Q_i(T_i)$ – вероятность достижения поверхностью аппарата (в наиболее нагретом месте) критической (пожароопасной) температуры, которая равна температуре воспламенения (самовоспламенения) изоляционного материала;

k – число пожароопасных аномальных режимов работы, характерное для конкретного исполнения ПРА.

Для оценки пожарной опасности проводим испытание на десяти образцах ПРА. За температуру в наиболее нагретом месте принимаем среднее арифметическое значение температур в испытаниях

$$T_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^{10} T_j}{10}.$$

Дополнительно определяет среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10}\left(T_j - T_{cp}\right)^2}{y}}.$$

Вероятность $Q(T_i)$) вычисляем по формуле

$$Q(T_i) = 1 - \Theta_i,$$

где Θ_i – безразмерный параметр, значение которого выбирается по табличным данным, в зависимости от безразмерного параметра α_i в распределении Стьюдента.

Вычисляем (α_i) по формуле

$$\alpha_i = \frac{\sqrt{10}\left(T_k - T_{cp}\right)}{\sigma},$$

где $T_к$ – критическая температура.

Значение $T_к$ применительно для ПРА вычисляем по формуле

$$T_k = \frac{\sum_{j=1}^{10}\left(T_{дj} + T_{вj}\right)}{20},$$

где $T_{дj}$, $T_{вj}$ – температура j –го аппарата (в наиболее нагретом месте), соответственно при появлении первого дыма и при «выходе» аппарата из строя (прекращении тока в цепи).

Значение Q (B) вычисляем в соответствии со стандартом [3] при n =10.

Значение критической температуры $T_к$ составило 442,1 К, при этом из десяти испытуемых аппаратов у 2-х был зафиксирован выброс пламени (m=1, $Q(B)$ =0,36).

Результаты расчета указаны в табл.6.3.

Таблица 6.3

Результаты расчета пожарной опасности ПРА

Параметр	Длительный пусковой режим (i=1)	Режим с короткозамкнутым конденсатором (i=2)	Длительный пусковой режим с короткозамкнутым конденсатором (i=3)
Q (a_i)	0,06	0,1	0,006
σ	30,9	37,8	4,967
m	1	1	0,99967
Q (T_i)	0	0	0,00033

<u>Заключение.</u>

Таким образом, расчетная вероятность возникновения пожара от ПРА равна $Q_п$ = 1(0,06·0+0,1·0+0,006·0,00033)·0,36 =7,1·10^{-7}, что меньше 1·10^{-6}, т.е. ПРА пожаробезопасен.

6.4.Ионизирующее излучение как источник риска

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) относятся только к ионизирующему излучению. В Нормах учтено, что ионизирующее излучение является одним из множества источников риска для здоровья человека, и что риски, связанные с воздействием излучения, не должны соотноситься только с выгодами от его использования, но их следует сопоставлять и с рисками нерадиационного происхождения.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);

- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Ответственность за соблюдение настоящих норм устанавливается в соответствии со статьей 55 Закона Российской Федерации "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения".

Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере 1 чел.-года жизни населения. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни населения устанавливается методическими указаниями федерального органа Госсанэпиднадзора в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

Индивидуальный и коллективный пожизненный риск возникновения стохастических эффектов определяется соответственно:

$$r_{ic} = \int_0^{\infty} p_i(E) * r_E * E\, dE;$$

$$R = \sum_{i=1}^{N} r_{ic},$$

где r, R - индивидуальный и коллективный пожизненный риск соответственно; E - индивидуальная эффективная доза; $p(E)dE$ - вероятность для i-го индивидуума получить годовую эффективную дозу от E до $E+dE$; r_E - коэффициент пожизненного риска сокращения длительности E периода полноценной жизни в среднем на 15 лет на один стохастический эффект (от смертельного рака, серьезных наследственных эффектов и несмертельного рака, приведенного по вреду к последствиям - от смертельного рака), равный:

а) для производственного облучения:

r_E = 5,6 x 10^{-2} 1/чел.-Зв при E < 200 мЗв/год;
r_E = 1,1 x 10^{-1} 1/чел.-Зв при E >= 200 мЗв/год;

б) для облучения населения:

r_E = 7,3 x 10^{-2} 1/чел.-Зв при E < 200 мЗв/год;
r_E = 1,5 x 10^{-1} 1/чел.-Зв при E >= 200 мЗв/год.

Для целей радиационной безопасности при облучении в течение года индивидуальный риск сокращения длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов консервативно принимается равным:

$$r_{i,д} = P_i[D > Д],$$

где $P_i[D > Д]$ - вероятность для i-го индивидуума быть облученным с дозой больше Д при обращении с источником в течение года; Д - пороговая доза для детерминированного эффекта.

Потенциальное облучение коллектива из N индивидуумов оправдано, если

$$\sum_{i=1}^{N} (\bar{r}_{ic} \text{ x } О_c + \bar{r}_{iд} \text{ x } О_д) \text{ x } C_г \le V - Y - P,$$

где $О_c$ - среднее сокращение длительности периода полноценной жизни в результате возникновения стохастических эффектов, равное 15 лет; $О_д$ - среднее сокращение длительности периода полноценной жизни в результате возникновения тяжелых последствий от детерминированных эффектов, равное 45 лет; $C_г$ - денежный эквивалент потери 1 чел.-года жизни населения; V - доход от производства; Y - ущерб от защиты; P - затраты на основное производство, кроме ущерба от защиты.

Снижение риска до возможно низкого уровня (оптимизацию) следует осуществлять с учетом двух обстоятельств:

- предел риска регламентирует потенциальное облучение от всех возможных источников излучения. Поэтому для каждого источника излучения при оптимизации устанавливается граница риска:

- при снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень

риска, ниже которого риск считается пренебрежимым и дальнейшее снижение риска нецелесообразно.

Предел индивидуального пожизненного риска в условиях нормальной эксплуатации для техногенного облучения в течение года персонала принимается округленно $1{,}0 \cdot 10^{-3}$, а для населения - $5{,}0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень пренебрежимого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6}.

6.5. О профессиональном риске в охране труда

Сформулированы концептуальные положения совершенствования системы охраны труда на современном этапе. Их практическая реализация потребовала разработки теоретической базы профессионального риска. Её основные положения состоят в следующем:

1. Воздействие вредных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса обуславливает стохастические эффекты повреждения здоровья, которые до настоящего времени не находят отражения в нормативных и методических документах, оценивающих риск ущерба здоровью человека.
2. Скрытый ущерб здоровью работающих неблагоприятными условиями труда может характеризоваться временем сокращения продолжительности жизни, которое рассчитывается на основе предложенной универсальной шкалы, устанавливающей количественную связь между стохастическими эффектами ущерба здоровью и состоянием условий труда.
3. Для работающего жителя России риск летального исхода вследствие работы в условиях труда на границе классов вредности 3.3–3.4 (по гигиеническим нормам «Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» Р 2.2.755-99) сопоставим с современным риском летального исхода по причине злокачественных новообразований, устойчиво занимающим второе-третье место в структуре смертности населения страны. Это обосновывает требование приоритетности внимания к условиям труда работающего населения как одной из главных задач не только сферы охраны труда, но и общества в целом.
4. Профессиональный риск включает риски повреждения здоровья вследствие травм $R_{тр}$, профессиональных заболеваний с различной степенью утраты степени трудоспособности $R_{пз}$ и скрытого повреждения здоровья вредными условиями производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса $R_{скр}$.
5. Количественно профессиональный риск характеризуется интегральным показателем риска, выражающим среднее на одного занятого профессиональной деятельностью время сокращения продолжительности жизни. Доказано, что риск повреждения здоровья неблагоприятными условиями труда доминирует в структуре общего профессионального риска.

6. Основаны новые показатели производства, характеризующие его с позиции профессионального риска производителей продукции, а именно, уровень совершенства технологического производства и уровень безопасности производства. Технологический процесс по фактору профессионального риска характеризуется риском скрытого ущерба здоровью неблагоприятными условиями труда лиц, занятых в его реализации; уровень безопасности производств для сверхкрупных компаний (с числом работающих в несколько десятков тысяч человек) – величиной интегрального показателя профессионального риска; для мелких, средних и крупных предприятий – величиной риска скрытого ущерба здоровью неблагоприятными условиями труда.

Сформулированные теоретические положения и установленные закономерности профессионального риска (ПР) позволили выделить перспективные направления, а в ряде случаев уже дать конкретные решения современных задач охраны труда (см. рис.6.3).

Первое направление (I) – *количественная оценка риска*, а именно оценка индивидуального риска занятых в неблагоприятных условиях труда, сопоставимая оценка риска работающих по регионам и отраслям экономики, оценка по фактору профессионального риска технологических операций, техпроцессов, производимой продукции и производственных объектов. Принципиально важно, что исходными данными для проведения любой из перечисленных оценок являются общепринятые в охране труда показатели профзаболеваемости, частоты и тяжести травматизма, а также результаты аттестации рабочих мест, что делает её универсальной для систем любого уровня иерархии.

ЛЕТАЛЬНЫЙ ИСХОД
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННО ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ
СКРЫТЫЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ РИСК
ПДК РАБОЧЕЙ ЗОНЫ
ЭКООБУСЛОВЛЕННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ
СКРЫТЫЙ ЭКООБУСЛОВЛЕННЫЙ РИСК
ПДК ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ЕСТЕСТВЕННЫЙ ФОН

Рис.6.3.Схема оценки профессионального риска

Второе направление (II) – *формирование экономического механизма* взаимоотношений государства, работодателя и работника в вопросах охраны труда. Его составляющими

являются: стимулирование работодателя в улучшении условий труда; предложение источников финансирования охраны труда и в первую очередь НИР и ОКР, целевых программ и программ предприятий по улучшению условий труда; стимулирование работников в сохранении своего здоровья.

Впервые количественно оцененные масштабы скрытого повреждения здоровья вредными условиями труда и трудового процесса показали настоятельную необходимость смещения приоритетов в сфере охраны труда в область оздоровления условий производственной деятельности. Создаваемая уже под новые экономические реалии законодательная база в области охраны труда пока не ориентирована на внимание к решению этой задачи. В частности, принятый Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» опять акцентируют внимание на травматизме и профзаболеваемости. В то же время полученные данные о величине риска ущерба здоровью условиями труда классов 3.4 и 4 (в соответствии с классификацией Р 2.2.755-99) свидетельствуют, во-первых, о его соизмеримости с риском травматизма, являющегося одним из ключевых показателей положения дел с охраной труда в рамках действующей системы; во-вторых, о превышении им риска летального исхода от злокачественных новообразований, на борьбу с которым в мире тратятся огромные усилия и средства; в-третьих, о сопоставимости ущерба здоровью при работе в этих условиях с ущербом от фиксируемых профессиональных заболеваний.

Приведённые факты дают основания ставить вопрос о том, что при расчёте показателя, определяющего ставку отчислений предприятия в фонд обязательного социального страхования, помимо травматизма и профессиональной заболеваемости необходимо учитывать наличие рабочих мест с условиями труда классов 3 (вредных) и 4 (опасных), выявляемых в ходе аттестации рабочих мест. Реализация в Федеральном законе этого методического положения вынудит работодателей обращать внимание на необходимость решения вопросов охраны труда, поскольку станет частью экономического механизма, обязующего работодателя платить за наличие рабочих мест, создающих чрезмерную опасность для здоровья работающих.

Поскольку скрытое повреждение здоровья не является страховым событием, как травма или профзаболевание, действующая страховая практика в этом случае не предусматривает адресной компенсации. Однако этот вид риска наносит социальный ущерб обществу в целом, поэтому компенсация за него должна целевым назначением расходоваться на финансирование научных исследований и целевых программ по улучшению условий труда, совершенствованию системы в целом.

Что касается конкретных шагов поощрения работающих в действиях, направленных на поддержание и сохранение своего здоровья, в частности, не имеющих дней нетрудоспособности в течение определённого времени, то здесь в полной мере должна быть реализована экономическая самостоятельность предприятий: это может быть оплата работодателем посещений бассейна, сауны, тренажерных залов, других оздоровительных комплексов и мероприятий для работников и членов их семей, бесплатное предоставление пу-

тёвок в профилакторий, предоставление дней дополнительного отпуска, приоритеты при составлении графика очередных отпусков и многое другое.

Однако реализация принципа личной заинтересованности и ответственности работающего за состояние своего собственного здоровья и каждого человека за свое место и положение в окружающем мире связана, в первую очередь, с изменением менталитета общества и формированием нового сознания как необходимого условия решения проблемы безопасности человека в окружающем мире в целом.

Третье направление (III) – *совершенствование системы контроля условий труда*. Сегодня состояние условий труда на предприятиях контролируется тремя структурами: Роструднинспекцией, Государственной инспекцией условий труда и органами Госгортехнадзора, Санэпиднадзора и др. С одной стороны, они имеют один и тот же объект контроля, хотя и рассматриваемый с резных точек зрения, с другой – цель контроля подразумевает устранение текущих нарушений, но не используется как элемент управления охраной труда.

Профессиональный риск в охране труда как новая база знаний, воедино соединяющая последствия воздействия на работающего вредных и опасных производственных факторов, может служить теоретическим обоснованием для совершенствования структуры органов надзора и контроля в охране труда. Предложенный подход к оценке профессионального риска даёт объективный количественный критерий контроля, а именно степень приближения профессионального риска на предприятии к социально приемлемому в отрасли уровню через улучшение условий труда.

Четвертое направление (IV) – *количественная оценка экономического ущерба*, наносимого обществу последствиями работы трудящихся в неблагоприятных условиях труда. В настоящее время количественно оценена содержательная составляющая ущерба – профессиональный риск. По мере стабилизации экономической ситуации в государстве станет возможным определить стоимостной эквивалент профессионального риска, что в совокупности позволяет в денежном отношении оценить потери общества от нерешенных вопросов безопасности труда.

Перспективой развития выполненных исследований может стать разработка единой многопороговой концепции воздействия природно-техногенной среды на человека, включая производственные условия.

6.6. Страхование промышленных рисков

Удовлетворение нарастающих потребностей общества в энергетических и химических ресурсах неразрывно связано с внедрением высокоэффективных технологий, отличающихся увеличением концентрации и единичных мощностей технологического оборудования. Этим тенденциям объективно сопутствуют как рост объемов капитальных вложений и производство, так и увеличение возможных ущербов от аварийных ситуациях производственных объектах.

По опубликованным статистическим данным имущественный ущерб от аварий приводят к банкротствам 46% промышленных предприятий в течение первого года и еще 23% в течение последующих 2...3 лет от момента возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций. Столь высокий процент банкротства в промышленности связан, прежде всего, с необходимостью покрытий ущерба от аварий не только и не столько промышленной собственности, но и обществу в целом, включая его субъекты, имеющие приоритетное право на возмещение вынужденных потерь.

Так, помимо имущественного, существенную долю совокупного ущерба от техногенных чрезвычайных ситуаций может составлять вред, нанесенный здоровью и жизни людей, а также обусловленный загрязнением окружающей природной среды.

В этих условиях промышленная безопасность является одним из важнейших факторов, определяющих экономическую устойчивость топливно–энергетического производства. В связи с этим в России и других технически развитых странах активно ведутся работы по анализу промышленных рисков и поиску методов их снижения техническими, организационными и другими мерами.

Несмотря на безусловную актуальность и полезность работ, все усилия и достижения в этом направлении не позволяют полностью исключить возможность аварий и ущерб от них. Согласно данным мировой статистики, к настоящему времени экономический эквивалент совокупной величины среднего размера ущерба от одной крупной аварии на трубопроводе нефти и газа достигает 47 млн долл. США, а от аварии на нефтехимических и газоперерабатывающих заводах 55 млн долл. США.

К сожалению, прогноз аварийности на предприятиях России весьма неблагоприятен, что связано преимущественно с изношенностью основных фондов.

С целью преодоления указанных негативных тенденций новое законодательство, включая законы «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и «О пожарной безопасности», относит риск–анализ и управление рисками к одному из основных элементов обеспечения безопасности и безаварийности производства. Мировая промышленная практика показывает, что обеспечение экономической устойчивости производств с высокими уровнями промышленных рисков может быть обеспечено эффективным использованием экономических методов управления промышленной безопасностью и прежде всего страховой защитой опасных производственных объектов.

Российское законодательство, правовые нормативные акты Федеральных органов исполнительной власти относят страхование к одному из основных элементов обеспечения промышленной безопасности.

К настоящему времени в международной практике сформировалась и интенсивно развивается эффективная система комплексного страхования промышленной собственности от техногенных и чрезвычайных природных ситуаций – промышленных рисков. При этом понятие промышленного риска включает, как правило, весь возможный диапазон нештатных производственных ситуаций, а страховому возмещению подлежат все виды

причиненного ими ущерба материальным и финансовым ресурсам, природной среды, персоналу, а также ущерб, причиненный третьим юридическим и физическим лицам.

В связи с этим в Российской Федерации наблюдается интенсивное развитие законодательной, нормативной и информационной базы страховой деятельности, прежде всего в области обязательного и добровольного страхования, включая страхование ответственности промышленных объектов повышенной опасности и других видов страхования промышленных рисков.

Наряду с повышением надежности страховой защиты, не менее важным фактором, определяющим эффективность положительных тенденций в этой области, является возможность качественного повышения уровня промышленной безопасности путем создания на базе страхования системы материального стимулирования персонала, направленной на снижение аварийности и травматизма.

Сложившаяся ситуация в области страхования промышленных рисков наиболее неблагоприятна для предприятий топливно–энергетического комплекса, связанных с эксплуатацией производственных объектов повышенной опасности, в том числе с возможным катастрофическим уровнем ущербов от аварийных ситуаций.

Генеральная цель комплексного страхования промышленных рисков – повышение безопасности, надежности и экономической эффективности производства – может быть достигнута только при условии обеспечения реального эффекта страхования как для работников, так и для всех звеньев управления производством.

Опыт ведущих промышленных компаний и страховщиков промышленной собственности позволяет прогнозировать проявление реальной эффективности комплексного страхования промышленных рисков в следующих основных формах:

1. Для акционерного общества в целом и владельцев акций эффективность страхования определяется ростом рыночной стоимости акционерной собственности (вследствие повышения качества и надежности ее страховой защиты), а также сокращением возможных экономических, моральных и других потерь из–за общего ожидаемого снижения аварийности.

2. Для предприятия прогнозируемая эффективность комплексного страхования промышленных рисков обусловлена также повышением маневренности свободного капитала в отсутствие необходимости создания резервов на случай непредвиденного ущерба при гарантии его страхового возмещения.

3. Основным фактором для предприятия, его подразделений и работников, определяющим эффективность комплексного страхования промышленных рисков, является прямое экономическое стимулирование работ на основе гибкого изменения страховых платежей с учетом фактических результатов работ по предотвращению промышленных рисков.

Весьма важным фактором эффективности страхования является повышение уровня социальной и экономической защищенности работников, в том числе на период временной ограниченной занятости, как возможного последствия чрезвычайных ситуаций. В промышленной практике комплексное страхование промышленных рисков наиболее эф-

фективно реализуется на базе системного подхода, предусматривающего наличие законченных нормативных и структурных методических элементов и их регламентируемую взаимосвязь, обеспечивающих оперативное и качественное проведение всех процедур, связанных с организацией страхования конкретных объектов и реализацией их возможных экономических, юридических и иных последствий (рис.6.4).

Сущность методологии комплексного страхования заключается в регламентированной последовательности методически обеспеченных операций, основные из которых представлены на рис.6.5.

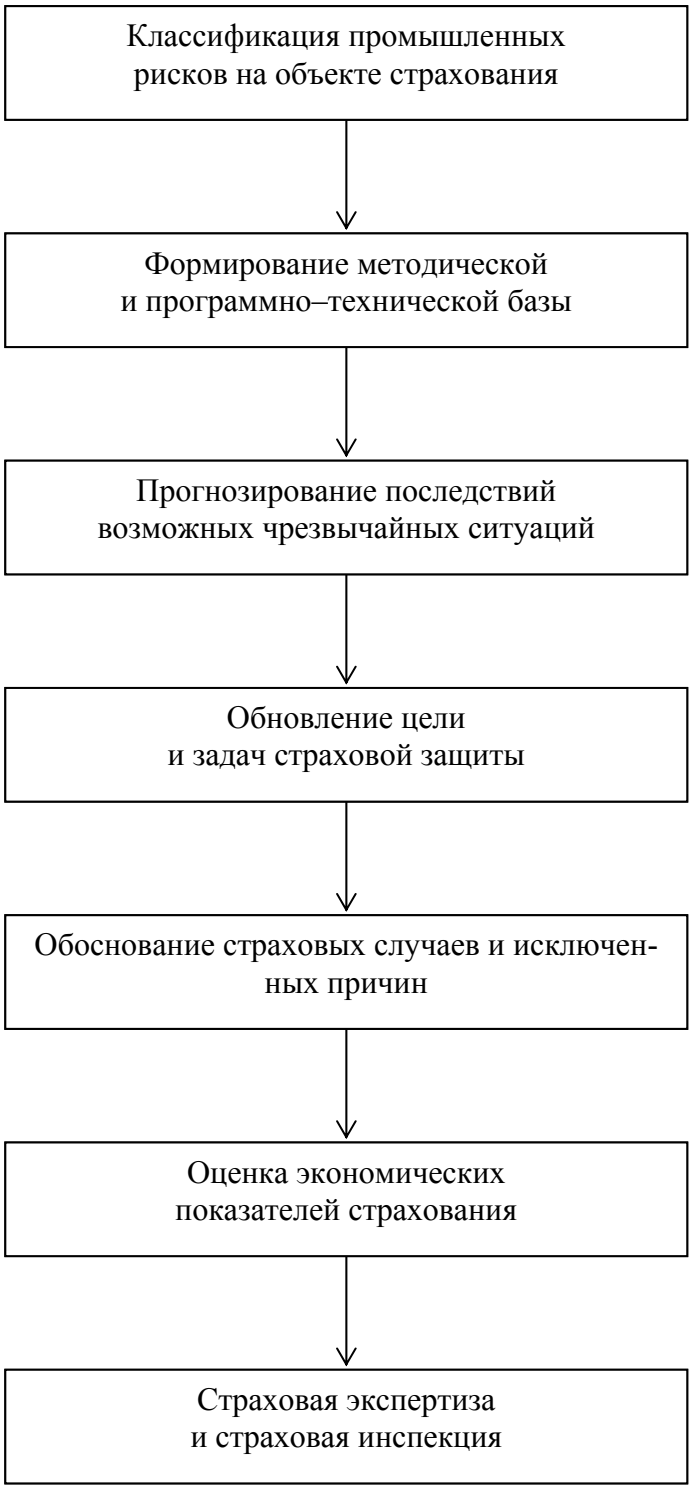


Рис.6.4. Структура системы страхования промышленных рисков

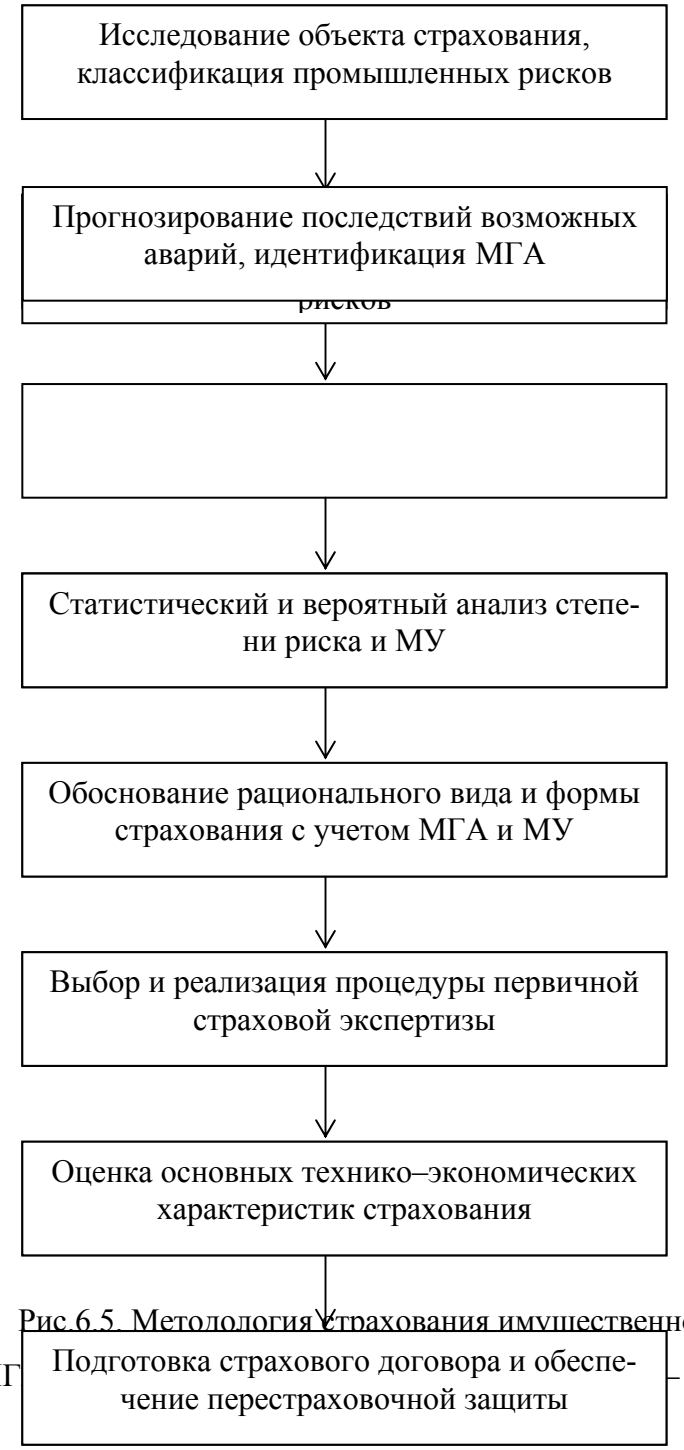


Рис.6.5. Методология страхования имущественного ущерба:

МГ – максимальный

При реализации указанных операций на основе действующих нормативных актов Госгортехнадзора России и МЧС России выделены классы промышленных рисков по природе их проявления и механизмам воздействия. Указанные риски могут быть разделены на химические, физические и биологические.

К промышленным рискам химической группы относятся риски загрязнения окружающей среды токсичными ингредиентами природного сырья, продуктами его переработки и утилизации, а также риски поражения человека этими ингредиентами.

К рискам физической группы, характерным для объектов газовой промышленности, относятся, в основном, риски, связанные с разрушением оборудования и обусловленные этим фактором:

- волна повышенного давления;
- разлет осколков;
- акустический удар и др.

Сюда же следует отнести риски пожаров и взрывов, обусловленные взрывопожароопасностью сырья, процессов его добычи, транспорта и переработки.

К промышленным рискам биологической группы относятся риски, связанные с возможностью загрязнения окружающей природной среды патогенными микроорганизмами, а также мутагенными, канцерогенными и другими биологически активными веществами.

Прогнозирование и оценка последствий промышленных рисков применительно к конкретному производственному объекту требует системного анализа последствий возможного проявления рисков каждой группы согласно классификации, представленной ранее. Так, прогнозирование последствий промышленных рисков химической группы сводится, в основном, к определению количеств токсичных ингредиентов, которые могут быть выделены в окружающую среду при возможных чрезвычайных ситуациях, а также к их распределению (зонированию) в окружающей среде, включая атмосферный воздух, поверхностные водоемы, почву и т.д. При этом зонирование уровней загрязнения всех объектов окружающей природной среды должно осуществляться на основе законодательно установленных токсикологических и иных предельных уровней. В частности, применительно к воздействию химических рисков на человека, зонирование их возможных последствий предусматривает использование уровней пороговых токсодоз, устанавливаемых действующими санитарными нормами.

Прогнозирование последствий промышленных рисков физической группы сводится к определению масштабов первичных последствий возможных чрезвычайных ситуаций, а также их вторичных проявлений. При этом к первичным последствиям относятся такие, как разрушение оборудования и сооружений, например, вследствие пожаров и взрывов, а к вторичным – тепловое излучение, волна повышенного давления, осколки и т.д.

С точки зрения практической реализации прогнозирования подход включает, прежде всего, выявление возможных максимальных гипотетических аварий (МГА), отличающих-

ся наиболее полным проявлением промышленных рисков, к которым, в частности, могут быть отнесены:

- для скважин – открытые газовые и нефтяные фонтаны, связанные с разрушением подземного и бурового оборудования, включая аварии, связанные с необходимостью ликвидации скважин;

- для продуктопроводов – разрывы труб, включая случаи, связанные с максимально возможным выбросом транспортируемой продукции в окружающую среду при взрыве и горении образующихся смесей, либо при распространении токсичных ингредиентов в природной среде;

- для объектов подготовки и переработки сырья – разрушение оборудования (аппаратов, резервуаров, коммуникаций и т.д.) и другие случаи, связанные с возможными пожарами, взрывами, распространением токсичных ингредиентов в природной среде.

Такие аварии следует отнести к страховым случаям, а оценка страховой суммы может быть осуществлена, исходя из требований полной компенсации имущественного и других ущербов, обеспечивающей восстановление производства и покрывающей финансовую ответственность предприятия в рамках действующего законодательства.

Для оценки стоимости страхования необходимым показателем является величина возможного средневероятностного ущерба, формируемая тремя основными параметрами, к которым относятся:

– страховая сумма или полный совокупный ущерб;

– вероятность возникновения страхового случая;

– период действия страхования.

Оценка вероятности страхового случая или степени риска для конкретного производственного объекта представляет собой весьма сложную логико–математическую задачу, для решения которой в международной практике приняты следующие методы:

- принятие законодательно либо экспертно установленной количественной величины для типовых производственных объектов или процессов;

- принятие среднестатистической величины, определяемой по результатам многолетнего опыта эксплуатации аналогичных или родственных производственных объектов;

- расчет количественной величины на базе существующих логико–вероятностных методов и методов математической статистики, максимально учитывающих тип и специфику производственного объекта.

Опыт ведущих зарубежных страховщиков показывает, что первоначальный период промышленного страхования может быть эффективно реализован как при нормативном, так и при среднестатистическом методах определения степени риска. Оперируя известными статистическими показателями в нефтегазовой промышленности, величину средневероятного ущерба с учетом периода действия страхования в один год можно оценить как 0,7…1,2% полного совокупного ущерба от МГА.

Применительно к конкретному объекту стоимость страхования должна быть уточнена при выполнении страховой экспертизы.

7.ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

7.1.Декларирование безопасности

Декларирование промышленной безопасности регламентируется Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ.

Декларирование безопасности промышленного объекта, деятельность которого связана с повышенной опасностью производства, осуществляется в целях обеспечения контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленном объекте.

Декларация безопасности – документ, в котором определены возможные характер и масштабы опасностей на промышленном объекте и выработанные меры по обеспечению промышленной безопасности и предупреждению техногенных чрезвычайных ситуаций.

Промышленный объект подлежит обязательному декларированию безопасности в случаях:

- если он включен в список объектов, деятельность которых связана с повышенной опасностью;

- если на нем обращаются опасные вещества в количестве, равном или превышающем определенное пороговое значение (см. таблицу 7.1).

Перечень промышленных объектов, деятельность которых связана с повышенной опасностью, включает:

- гидротехнические сооружения, аварии которых связаны с риском чрезвычайных ситуаций;

- сливо-наливные пункты пожаровзрывоопасных и опасных химических веществ;

- магистральные трубопроводные системы по транспорту нефти, газа, газоконденсата;

- магистральные трубопроводные системы по транспорту аммиака, этилена, пропилена;

- скважины нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений с избыточным давлением 10 МПа и более на устье скважин;

- железнодорожные и сортировочные станции массовой погрузки-выгрузки опасных грузов.

Разработка декларации промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с нею угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

Декларация безопасности имеет следующие разделы:

1. Общие сведения;
2. Месторасположение объекта;
3. Процессы и технологии;
4. Опасные вещества;
5. Анализ опасностей и риска;
6. Меры обеспечения безопасности;
7. Действия в случае аварии
8. Информирование общественности.

Раздел «Общие сведения» содержат: краткие сведения об объекте; характеристику объекта; обоснование идентификации объекта как подлежащего декларированию безопасности; страховые данные.

Раздел «Месторасположение объекта» содержит описание месторасположения объекта; данные о персонале и проживающем вблизи населении.

Раздел «Процессы и технологии» содержит описание технологии; характеристику основного технологического оборудования; перечень технологических параметров, влияющих на безопасность процесса; характеристику пунктов управления.

Раздел «Опасные вещества» содержит: характеристики опасного вещества; технологические данные по нему.

Таблица 7.1

Категории опасных веществ

Виды опасных веществ	Предельное количество (в тоннах)
Воспламеняющиеся газы	200
Горючие жидкости, находящиеся на товарно-сырьевых складах и базах	50000
Горючие жидкости, используемые в технологическом процессе или транспортируемые по магистральному трубопроводу	200
Токсичные вещества	200
Высокотоксичные вещества	20
Окисляющие вещества	200
Взрывчатые вещества	50
Вещества, представляющие опасность для окружающей природной среды	200

Раздел «Анализ опасностей и риска» содержит: сведения об известных авариях; определение источников опасностей; анализ условий возникновения и развития аварий и чрезвычайных ситуаций; выводы.

Раздел «Меры обеспечения безопасности» содержит: описание организационных мер обеспечения безопасности; описание технических решений, направленных на обеспечение безопасности; перечень планируемых мероприятий, направленных на повышение безопасности.

Раздел «Действия в случае аварии» содержат: оперативную часть плана локализации аварий на объекте; схемы оповещения о возникновении аварий и чрезвычайных ситуаций; описание средств и мероприятий по защите людей; порядок организации медицинского обеспечения.

Раздел «Информирование общественности» содержит: порядок и периодичность взаимодействия с населением и общественными организациями в регионе; порядок представления информации, содержащейся в декларации безопасности.

В качестве приложений к декларации безопасности приводятся: ситуационный план объекта; принципиальная технологическая схема; план размещения основного оборудования; перечень основных нормативных документов, регламентирующих требования по безопасному ведению работ; информационный лист, который может представляться по запросам граждан и общественных организаций.

Декларация безопасности подлежит обновлению не реже одного раза в 5 лет, а также в случаях:

- изменения сведений, входящих в нее и влияющих на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение чрезвычайных ситуаций и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;

- изменения действующих требований (правил и норм) в области промышленной безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций и защиты населения от чрезвычайных ситуаций;

- совместного решения органов МЧС России и Госгортехнадзора России.

7.2. Категорирование помещений, зданий, сооружений, установок по пожаровзрывоопасности

Оценка пожаровзрывоопасности различных объектов заключается в определении возможных разрушительных воздействий пожаров и взрывов на эти объекты, а также опасных факторов пожаров и взрывов на людей. Определение этих опасных воздействий на стадии проектирования объектов осуществляется на основе нормативных требований, разработанных соответствующими органами с учетом наиболее жестких (т.е. наиболее опасных) условий протекания и проявления пожаров и взрывов, т.е. с учетом аварийной ситуации.

В настоящее время основополагающими документами, устанавливающими степень пожаровзрывоопасности проектируемого объекта, являются нормы НПБ 105-95 и НПБ

107-97. Этими документами предусматривается категорирование промышленных и складских помещений, зданий и сооружений, наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с таблицами 7.2 и 7.7.

В основу оценки взрывопожарной опасности производственных помещений положены физико-химические показатели пожаро- и взрывоопасности обращающихся в помещении веществ и энергетический подход, заключающийся в оценке расчетного избыточного давления взрыва и сравнении его с допустимым (табл. 7.2).

При расчете категории принимается возможность аварийной разгерметизации одной наиболее крупной единицы технологического оборудования с наиболее пожаровзрывоопасным веществом. Учитывается также возможность натекания продуктов из подводящих коммуникаций за время до отключения соответствующих трубопроводов. Время отключения трубопроводов принимается:

Таблица 7.2

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика вещества и материалов, находящихся в помещении
А взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 ^{0}С в таком количестве, что могут образовать паро-газовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5КПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5кПа.
Б взрывопожароопасная	Горючие пыли и волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 ^{0}С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5КПа.
В1-В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А и Б.
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

t_1 – равным времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 10^{-6} в год или обеспечено резервирование ее элементов;

t_2 = 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 10^{-6} в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

t_3 = 300 с при ручном отключении.

Количественным критерием назначения категории является избыточное давление (ΔP), которое может развиться при взрывном сгорании максимально возможного скопления взрывоопасных веществ в помещении. При ΔP > 5кПа рассматриваемый объект относится к взрывопожароопасным категориям А или Б в зависимости от свойств веществ. При ΔР < 5кПа объект относится либо к категории В, либо к категории Д в зависимости от

величины пожарной нагрузки. Под пожарной нагрузкой понимается энергия, выделяемая при сгорании горючих материалов, находящихся на 1 м^2 пола помещения.

Расчет ΔP производится по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_П \cdot \rho_B \cdot C_B \cdot T_0 \cdot K_H} \cdot \frac{1}{K}, \qquad (7.1)$$

где m – масса горючего газа, пара легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) или взвешенной в воздухе горючей пыли, поступившей из разгерметизированного технологического оборудования, кг;

$H_т$ – теплота сгорания истекающего вещества, кДж/кг;

P_0 - атмосферное давление, 101кПа;

Z – коэффициент участия горючего вещества во взрыве (Z = 0,5 для газов и пылей, Z = 0,3 для паров жидкостей, Z = 1 для водорода);

$V_П$ – свободный объем помещения, принимаемый равным 0,8 от геометрического объема, м^3;

$\rho_в$ – плотность воздуха (можно принять равной 1,2 кг/м^3);

$C_в$ – теплоемкость воздуха (можно принять равной 1,01 кДж/кг ·К);

T_0 – температура в помещении (можно принять равной 293 К);

$K_н$ - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения (принимается равным 3);

$K = (A\ t + 1)$ -– коэффициент, учитывающий аварийную вентиляцию (этот коэффициент учитывается, если аварийная вентиляция оборудована резервными вентиляторами, автоматическим пуском при достижении взрывоопасной концентрации и электропитанием по первой категории надежности по ПУЭ; A – кратность воздухообмена, с$^{-1}$; t - время поступления взрывоопасных веществ в помещение, с).

С учетом численных значений показателей, входящих в уравнение (7.1), получаем:

$$\Delta P = \frac{0{,}096 \cdot m \cdot H_T \cdot Z}{V_П} \cdot \frac{1}{K}. \qquad (7.2)$$

Величина m рассчитывается в зависимости от агрегатного состояния горючего вещества.

1. При разгерметизации аппарата с горючим газом (ГГ):

$$m = (V_1 + V_т) \cdot \rho, \qquad (7.3)$$

где $V_1 = V_{ОП} \frac{P_{ОП}}{P_0} \cdot \frac{T}{T_0}$ – объем газа, поступившего из аппарата, м^3;

$V_{ОП}$ – объем аппарата, м^3;
$P_{ОП}$ – давление в аппарате, кПа;
T, T_0 – температура в аппарате и в помещении, К;
$V_т = V_{1т} + V_{2т}$ – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м^3;
ρ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3;
$V_{1т} = q\ t$ — объем газа, выходящего из подводящего трубопровода, м^3;
q - расход газа из трубопроводов, м^3/с;
t- время отключения трубопроводов, с;
$V_{2т} = 0{,}01\ P_{ап}\ \pi\ r^2\ l$ – объем газа, вышедшего из трубопроводов после их отключения, м^3;

r - радиус сечения трубопровода, м;
l - длина трубопровода от аппарата до задвижки, м.

2. При разгерметизации оборудования с ЛВЖ:

$$m = m_р + m_{пf} + m_0, \quad (7.4)$$

где $m_р$ – масса жидкости, испарившейся при разливе, кг;

$m_{пf}$ – масса жидкости, испарившейся с поверхности аппарата, кг;

m_0 – масса жидкости, испарившейся со свежеокрашенной поверхности, кг.

При этом

$$m_р = W_и \cdot F_и \cdot \tau_и, \quad (7.5)$$

где $W_u = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} P_H$;

η- коэффициент учета движения воздуха по табл.7.3;

M- молекулярная масса ЛВЖ;

$P_н$ - давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа;

$W_и$ – скорость испарения, кг/(м^2·с);

$F_и$ - поверхность разлива, принимаемая 1л на 1м^2, если ЛВЖ содержит более 70% раствори-те ля, и 1л на 0,5м^2 в остальных случаях;

$\tau_и$ – время испарения (принимается по времени полного испарения, но не более 3600 с).

Таблица 7.3

Значения коэффициента учета движения воздуха в помещении

Скорость воздуха, м/с	Значение η при температуре воздуха, ^{0}С				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

3. При наличии взрывоопасной пыли:

$$m = m_{вз} + m_{ав}, \qquad (7.6)$$

где $m_{вз} = K_{вз} \cdot m_п$ - масса взвихрившейся пыли;

$K_{вз} = 0,9$ - доля взвешенной пыли;

$m_п = \frac{K_Г}{K_У}(m_1 + m_2)$; $K_г$ - доля горючей пыли,

$K_у$ - коэффициент эффективности уборки, принимаемый при ручной сухой 0,6 и при влажной 0,7; при механизированной на ровном полу 0,9 и на полу с выбоинами 0,7;

$m_1 = M_1 (1 - \alpha) \beta_1$ - масса пыли, оседающей на труднодоступных местах за межуборочный период, кг;

$m_2 = M_1 (1 - \alpha) \beta_2$ – масса пыли, оседающей на доступных местах, кг;

M_1 – масса пыли, выделяющейся за этот период из оборудования, кг;

α – доля пыли, удаляемой вентиляцией;

β_1 – доля пыли на труднодоступных местах;

β_2 – то же на доступных местах (обычно β_1=1, β_2=0);

$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot t) \cdot K_п$ – масса пыли, поступившей в помещение в результате аварии;

$m_{ап}$ - масса пыли, выброшенной при аварии из аппарата, кг;

$K_п$ - коэффициент пыления, равный 0,5 при размере частиц более 350 мкм и 1,0 при размере частиц менее 350 мкм.

Определение категорий В1-В4 осуществляется путем сравнения максимального значения удельной пожарной нагрузки (g, МДж/м^2) с табл.7.4.

Таблица 7.4

Значения удельной пожарной нагрузки

Категории	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж/м^2	Способ размещения
В1	более 2200	не нормируется
В2	1401-2200	допускается несколько участков с пожарной нагрузкой, не превышающей указанных значений g
В3	181-1400	то же
В4	1-180	на любом участке площадью 10 м^2. Расстояние между участками должны быть более $l_{пр}$ (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Значения расстояния между участками пожарной нагрузки

$q_{кр}$, кВт/м^2	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{пр}$, м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Величина g определяется по уравнению:

$$g = \frac{Q}{S}, \qquad (7.7)$$

где $Q = G_i \cdot Q_н$) – пожарная нагрузка, МДж;

G_i - количество i-го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_н$ – низшая теплота сгорания i-го материала пожарной нагрузки, МДж/кг;

S – площадь размещения пожарной нагрузки, м^2 (но не менее 10 м^2).

Значения критической плотности лучистых потоков $q_{кр}$ от очагов пожара из твердых материалов даны в табл.7.6.

Таблица 7.6

Критическая плотность лучистых потоков от очагов пожара

Материалы	$q_{кр}$, кВт/м^2
Древесина (сосна влажностью 12%)	13,9
Древесностружечные плиты (плотность 417 кг/м)	8,3
Хлопок	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Рулонная кровля	17,4

Величины $l_{пр}$ из табл. 7.5 принимаются при высоте помещения h >11 м, а при h<11 м принимается как $l=l_{пр}+ (11-h)$. Для пожарной нагрузки с неизвестной величиной $q_{кр}$ значение $l_{пр} \geq 12$ м. При проливе горючих жидкостей $l_{пр}$ между соседними участками разлива рассчитывается по формулам:

$$l_{пр} \geq 15м \text{ при } h \geq 11 \text{ м}; \qquad (7.8)$$

$$l_{пр} \geq (26-h) \text{ при } h<11 \text{ м}.$$

Если при определении категории В2 или В3 реализуется условие

$$Q \geq 0{,}64 \cdot g \cdot h^2, \qquad (7.9)$$

то помещение должно относится к категориям В1 и В2 соответственно.

Для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, воздухом или друг с другом, при расчете ΔP величина коэффициента Z принимается равной 1 (единице), а за $H_т$ - энергия взаимодействия веществ.

После категорирования помещений производится категорирование зданий в целом. Согласно НПБ 105-95 здание относится к категории А, если суммарная площадь помещений категории А превышает 5% от площади всех помещений или 200 м^2. Если помещения

оборудуются установками автоматического пожаротушения, то норма 5% увеличивается до 25% или до 1000 м^2.

Здание относится к категории Б, если оно не относится к категории А и суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% или 200 м^2, а если помещения оборудованы автоматическими установками пожаротушения, то здание можно не относить к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б не превышает 25% или 1000 м^2.

К категории В относятся здания, если, во-первых, они не отнесены к категориям А или Б, во-вторых, если суммарная площадь помещений А, Б, и В превышает 5% (10% при отсутствии в здании помещений категории А и Б) суммарной площади всех помещений.

Допускается не относить к категории В здания, если площадь помещений категории А, Б и В при наличии в них установок автоматического пожаротушения не превышает 25% площади здания (но не более 3500 м^2).

Здание относится к категории Г, если, во-первых, не относится к категориям А, Б, и В, во-вторых, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г не превышает 5% площади здания (25% при оборудовании автоматическим пожаротушением, но не более 5000 м^2).

НПБ 105-95 являются основой для установления требований к помещениям и зданиям в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, конструктивных решений и инженерного оборудования, предусматривающих сохранность помещений и зданий от пожаров и взрывов.

В зависимости от установленной категории пожаровзрывоопасности помещения, здания или сооружения предусматриваются определенные объемно-планировочные решения и профилактические мероприятия в соответствии с требованиями СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

ГОСТ 12.1.004-91 рекомендует метод расчета по определению критической массы горючих веществ при их аварийном выбросе для помещений, где обращаются горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости и горючие пыли. Он позволяет определить максимально возможную массу $m_{\max}$ горючих веществ, при аварийном выбросе которых еще можно относить помещение к непожаровзрывоопасным:

$$m_{\max} = \frac{\Delta P_{доп} \cdot C_{ст} \cdot V_{СВ} \cdot \rho_{Г(П)}}{\Delta P_{\max} \cdot 100 \cdot Z}, \qquad (7.10)$$

где $\Delta P_{доп}$ – предельно допустимый рост давления для конструкций зданий и оборудования (допускается принимать значения ΔPдоп = 5 кПа);

$C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация горючего газа или пара:

$$C_{СТ} = \frac{100}{1 + 4{,}84\beta_1} \text{ (об. \%)};$$

здесь β_1 – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания:

$$\beta_1 = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_o}{2};$$

где n_c, $n_н$, $n_х$, $n_о$ – число атомов углерода (C), водорода (H), галоидов (X) и кислорода (O) в молекуле горючего (например, для ацетилена C_2H_2: $\beta_1 = 2 + \frac{2-0}{4} - \frac{0}{2} = 2{,}5$) ;

$V_{СВ}$ – свободный объем помещения, принимаемый равным 80 % геометрического объема помещения, м^3;

$\rho_{г(п)}$– плотность горючего газа (пара) при расчетной температуре, кг/м^3; ΔP_{max} – избыточное давление взрыва стехиометрической газовой (паровоздушной) смеси (допускается принимать ΔP_{max}=800 кПа);

Z – коэффициент участия горючей среды во взрыве.

Допускается принимать следующие значения Z:

- водород…1,0;

- горючие газы…0,5;

- ЛВЖ и ГЖ, нагретые до температуры вспышки и выше…0,3;

- ЛВЖ и ГЖ, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля…0,3;

- ЛВЖ и ГЖ, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля…0.

Максимально возможную массу горючей пыли, при аварийном выбросе которой еще можно относить помещение к невзрывопожароопасным, вычисляют о формуле:

$$m_{\max} = \frac{\Delta P_{доп} \cdot C_p \cdot \rho_B \cdot V_{CB} \cdot T_o}{P_o \cdot q_П \cdot Z_П} \text{ (кг)}, \qquad (7.11)$$

где C_p=1,01·10^3 кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

$\rho_в$ – плотность воздуха в помещении, кг/м^3;

$T_о$ – температура воздуха в помещении, К;

$P_о$ = 101 кПа – атмосферное давление;

$q_п$ – удельная теплота сгорания горючей пыли, кДж/кг;

$Z_п$ – коэффициент участия пыли во взрыве (при отсутствии экспериментальных данных принимается $Z_п$=0,5).

НПБ 107-97 устанавливает методику определения категорий наружных установок производственного и складского назначения по пожарной опасности.

Наружная установка – комплекс аппаратов и технологического оборудования, расположенных вне зданий, с несущими и обслуживающими конструкциями.

Категории наружных установок по пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 7.7.

Таблица 7.7

Категории наружных установок по пожарной опасности

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
$А_н$	Установка относится к категории $А_н$, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы; легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки ($T_{всп}$) не более 28°С; вещества и/или материалы, способные гореть при взаимодействии

	с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом; при условии, что величина индивидуального риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления превышает 10^{-6} в год на расстоянии 30 м от наружной установки
$Б_н$	Установка относится к категории $Б_н$, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие пыли и/или волокна; ЛВЖ с $T_{всп}$ более 28°С; горючие жидкости, при условии, что величина индивидуального риска при возможном сгорании пыле- и/или паровоздушных смесей с образованием волн давления превышает 10^{-6} в год на расстоянии 30 м от наружной установки
$В_н$	Установка относится к категории $В_н$, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие и/или трудногорючие жидкости; твердые горючие и/или трудногорючие вещества и/или материалы (в том числе пыли и/или волокна); вещества и/или материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом гореть; не реализуются категории, позволяющие отнести установку к категориям $А_н$ или $Б_н$, при условии, что величина индивидуального риска при возможном сгорании указанных веществ и/или материалов превышает 10^{-6} в год на расстоянии 30 м от наружной установки
$Г_н$	Установка относится к категории $Г_н$, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества и/или материалы в горячем, раскаленном и/или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и/или пламени, а также горючие газы, жидкости и/или твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
$Д_н$	Установка относится к категории $Д_н$, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и/или материалы в холодном состоянии и по перечисленным выше критериям она не относится к категориям $А_н$, $Б_н$, $В_н$, $Г_н$

Требования норм НПБ 107-97 должны учитываться в проектах на строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение, при изменениях технологических процессов и при эксплуатации наружных установок.

Определение категорий наружных установок следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям от высшей ($А_н$) к низшей ($Д_н$).

В случае, если из-за отсутствия данных представляется невозможным оценить величину индивидуального риска, допускается использование вместо нее следующих критериев.

Для категорий $А_н$ и $Б_н$:

- горизонтальный размер зоны, ограничивающей газо-, паровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), превышает 30 м (данный критерий принимается только для горючих газов и паров) и/или

- расчетное избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

Для категории $В_н$:

- интенсивность теплового излучения от очага пожара веществ и/или материалов, указанных для категории $В_н$, на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 4 кВт·м^2.

7.3.Классификация взрыво-пожароопасных производственных зон

С помощью рассмотренного выше нормативного документа производится оценка возможности и масштабов образования пожаровзрывоопасных сред. Как известно, для возникновения пожара или взрыва еще необходим источник воспламенения. Наиболее распространенными являются источники электрического происхождения. Предупреждению появления таких источников посвящены Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Причем этими Правилами требования к выбору электрооборудования регламентируются с учетом степени взрывопожароопасности объекта, для которого производится выбор электрооборудования. Этими правилами предусматривается классификация производственных помещений и наружных установок по степени взрывопожароопасности, при этом степень взрывопожароопасности характеризуется взрывоопасными и пожароопасными зонами с учетом характера проведения технологических процессов, эксплуатации оборудования и взрывопожароопасных свойств и количеств веществ и материалов.

Взрывоопасная зона – помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

При определении взрывоопасных зон принимается, что взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5% свободного объема помещения. Взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5% свободного объема помещения. Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасную ситуацию.

По Правилам ПУЭ принимается, что в том случае, когда $\Delta P > 5$кПа, взрывоопасная зона занимает весь объем помещения. При локальном образовании взрывоопасной смеси, характеризуемой давлением взрыва не более 5кПа, взрывоопасную зону принимают в виде цилиндра вокруг аппарата радиусом и высотой 5 м. Причем для тяжелых газов и паров высота берется от пола, а для легких газов – от потолка.

Расчет избыточного давления взрыва производится теми же методами, что и при категорировании по НПБ 105-95.

Взрывоопасные зоны подразделяются на шесть классов.

1) Взрывоопасная зона класса В-I – пространство в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (загрузка или разгрузка технологических аппаратов, хранение или переливание ЛВЖ в открытых емкостях).
2) Взрывоопасная зона класса В-Iа – пространство в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ДВЖ с возду-

хом не образуются, а лишь кратковременно в результате аварийных ситуаций или неисправностей.

3) Взрывоопасная зона класса В-Iб – пространство в помещениях, в которых при нормальной работе взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование их возможно только в результате аварии или неисправностей, но отличающихся от класса В-Iа одной из следующих особенностей:

- горючие газы в этой зоне имеют высокий нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) 15% (об.) и выше, обладают резким запахом (например, объекты с наличием аммиака);

- присутствие газообразного водорода в помещениях, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения и имеющие взрывоопасную зону только в верхней части помещения;

- лабораторные и другие помещения, в которых горючие газы и пары ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в зоне, превышающей 5% свободного объема помещения, и в которых работа с этими веществами проводится без применения открытого огня;

- горючие газы и ЛВЖ имеются в таких количествах, что при их воспламенении и сгорании расчетное избыточное давление не превысит 5кПа.

Эти помещения не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ проводится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами и расчетное избыточное давление не превышает 0,5кПа.

4. Взрывоопасная зона класса В-Iг – пространства у наружных технологических установок с взрывоопасными веществами, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой; пространства у проемов, смежных с помещениями классов В-I, В-Iа и В-II, пространства около устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ.

5. Взрывоопасная зона класса В-II – пространство в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли и волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные пылевоздушные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов) и при ее воспламенении и сгорании может развиться избыточное давление свыше 5кПа.

6. Взрывоопасная зона класса В-IIа – пространство в помещениях, в которых опасные состояния, указанные в зоне класса В-II, не возникают при нормальной эксплуатации, а возможны только при аварийных ситуациях или неисправностях.

При давлении взрыва паров перегретых жидкостей, пылевоздушной смеси не более 5кПа принимается пожароопасная зона класса П-I или П-II соответственно. Пожароопасная зона – пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие вещества. Пожароопасные зоны классифицируются только по наличию горючих материалов. Помещения и установки, в которых содержатся горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°С и пыли с НКПР выше 65 г/м^3, относят к пожароопасным и классифицируют по следующим зонам.

1. Пожароопасная зона класса П-I – пространство в помещениях, в которых содержатся горючие жидкости (например, масла).
2. Пожароопасная зона класса П-II – пространство в помещениях, в которых может образоваться пылевоздушная смесь с НКПР выше 65 г/м^3 и при ее воспламенении и сгорании избыточное давление не будет превышать 5кПа.
3. Пожароопасная зона класса П-IIа - пространство в помещениях, в которых содержатся твердые горючие вещества, не способные переходить во взвешенное состояние.
4. Пожароопасная зона класса П-III – наружные установки вне помещений, в которых содержатся горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°С или твердые горючие вещества и материалы.

7.4. Категорирование технологических блоков и производств по степени взрывоопасности

Каждый технологический процесс должен быть оценен с точки зрения уровня взрывоопасности его технологических блоков.

Под технологическим блоком понимается аппарат или группа аппаратов, которые в любое время и на любой стадии протекания процесса могут быть отключены от действующей технологической системы, при этом не произойдет опасных изменений режима, приводящих к развитию аварии в смежных блоках или аппаратах. Границами технологических блоков является запорная арматура, которая должна быть доступна, с достаточным быстродействием, надежна и удобна в управлении.

Требования технологической взрывоопасности регламентируются правилами ПБ 09-170-97. Согласно этому документу степень взрывоопасности технологических блоков с горючими газами и жидкостями определяется общим энергетическим потенциалом взрывоопасности, представляющим сумму энергий адиабатического расширения парогазовой фазы A, энергии полного сгорания имеющейся и поступившей от соседних блоков парогазовой фазы (ПГФ) E^* и энергии образующихся из жидкой фазы (ЖФ) паров E^{**} за счет внутренней и внешней (окружающей среды) энергий при аварийной разгерметизации технологической системы:

$$E = A + E^* + E^{**} \text{ (кДж)}, \qquad (7.12)$$

где $E^* = E_1^* + E_2^*$;

$E^{**} = E_1^{**} + E_2^{**} + E_3^{**} + E_4^{**}$;

E_1^{*} - энергия сгорания ПГФ, находящейся в расчетном блоке, кДж;

E_2^{*} - энергия сгорания ПГФ, поступившей к месту разгерметизации расчетного блока от смежных блоков, кДж;

E_1^{**} - энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет теплоты перегрева жидкой фазы (ЖФ), имеющейся в расчетном блоке и поступившей из смежных блоков, кДж;

E_2^{**} - энергия сгорания ПГФ, образующейся из ЖФ за счет теплоты экзотермических реакций, кДж;

E_3^{**} - энергия сгорания ПГФ, образующейся из ЖФ за счет теплопритока от внешних теплоносителей, кДж;

E_4^{**} - энергия сгорания ПГФ, образующейся из ЖФ, пролитой на твердую поверхность, за счет тепла, поступившего от твердой поверхности и окружающей среды, кДж.

Детальный анализ выражения (7.12) показал, что существенный вклад в суммарный потенциал дают:

1. Энергия сгорания парогазовой фазы (ПГФ), находящейся в аварийном блоке:

$$E_1^{*} = G^{*}\, q^{*}, \text{ кДж},$$

где G^{*} – масса ПГФ в аварийном аппарате, кг; q^{*} – теплота сгорания ПГФ, кДж/кг.

2. Энергия сгорания ПГФ из смежных аппаратов:

$$E_2^{*} = \Sigma\, G_i^{*}\, q_i, \text{ кДж},$$

где G_i^{*} – масса ПГФ из смежных аппаратов, кг;

q_i^{*} – теплота сгорания ПГФ из смежных аппаратов, кДж/кг.

3. Энергия сгорания ПГФ, образующейся из перегретой (выше температуры кипения) жидкой фазы (ЖФ), имеющейся в аварийном блоке и поступающей из смежных блоков:

$$E_1^{**} = G^{**} \cdot c^{**} \cdot \theta \cdot q^{*}/r + \Sigma G_i^{**}\, c_i^{**}\, \theta_i\, q_i^{*}/r_i, \text{ кДж},$$

где G^{**}, ΣG_i^{**} - масса ЖФ, имеющейся в расчетном блоке и поступившей из смежных блоков, кг;

c^{**}, c_i^{**} – теплоемкости ЖФ, кДж/(кг С);

θ, θ_i – температуры перегрева ЖФ, ^{0}С;

r, r_i - теплоты парообразования ЖФ, кДж/кг.

4. Энергия сгорания ПГФ, образующейся из пролитой ЖФ:

$$E_4^{**} = G_\Sigma^{**}\, q^{*}, \text{ кДж},$$

где G_Σ^{**} - масса паров, образуемых при испарении пролитой ЖФ, кг.

Энергия сгорания содержащихся в технологическом блоке пылевоздушных смесей E зависит от массового количества дисперсного продукта $G_{пв}$ (кг) и удельной энергии сгорания пыли $q_{пв}$:

$$E = G_{пв} \cdot q_{пв}.$$

Для пылевоздушных смесей общая масса дисперсного продукта, участвующая в образовании взрывоопасной пылевоздушной смеси, включает три составляющие:

$$G_{пв} = G_1 + G_2 + G_3,$$

где G_1 – масса взвешенной пыли в аппаратуре технологического блока, кг;

G_2 – масса взвешенной пыли, образующейся в объеме помещения или наружной установки в результате выброса из разрушенного взрывом оборудования и поступления пыли к разгерметизированному участку из смежного оборудования, кг;

G_3 – масса пылевоздушной смеси, образующейся в объеме помещения или наружной установки за счет взвихрения осевшей пыли, кг.

Значения суммарной энергии E используются для определения относительного энергетического потенциала ($Q_в$) технологического блока, а также массы взрывоопасного парогазового облака (m), приведенной к тротиловому эквиваленту:

$$Q_B = \frac{1}{16{,}534}\sqrt[3]{E}\,. \qquad (7.13)$$

$$m = \frac{E}{4{,}6 \cdot 10^4}, \text{ кг} \qquad (7.14)$$

По значениям $Q_в$ и m производится категорирование технологических блоков по взрывоопасности (табл.7.8).

В зависимости от категории взрывоопасности Общими правилами взрывобезопасности устанавливаются определенные ограничения и назначаются необходимые для обеспечения взрывоопасности мероприятия.

Таблица 7.8

Показатели категории взрывоопасности технологических блоков

Категория взрывоопасности	$Q_в$	m, кг
I	> 37	> 5000
II	27 - 37	2000 - 5000
III	< 27	< 2000

7.5. Промышленная взрывобезопасность

Производственные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность возникновения взрыва на любом взрывоопасном участке в течение года не превышала 10^{-6}. В случае технической или экономической нецелесообразности обеспечения указанной вероятности возникновения взрыва производственные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность воздействия опасных факторов взрыва на людей в течение года не превышала 10^{-6} на человека.

Взрывобезопасность производственных процессов должна быть обеспечена взрывопредупреждением и взрывозащитой, организационно-техническими мероприятиями. Параметрами и свойствами, характеризующими взрывоопасность среды являются:

- температура вспышки;
- концентрационные и температурные пределы воспламенения;
- нормальная скорость распространения пламени;
- минимальное взрывоопасное содержание кислорода (окислителя);
- минимальная энергия зажигания;
- чувствительность к механическому воздействию (удару и трению).

Основными факторами, характеризующими опасность взрыва, являются:

- максимальное давление и температура взрыва;
- скорость нарастания давления при взрыве;
- давление во фронте ударной волны;
- дробящие и фугасные свойства взрывоопасной среды.

Для обеспечения взрывобезопасного ведения производственного процесса на него должны быть установлены коэффициенты безопасности.

Опасными и вредными факторами, воздействующими на работающих в результате взрыва, являются:

- ударная волна, во фронте которой давление превышает допустимое значение;
- пламя;
- обрушивающиеся конструкции, оборудование, коммуникации, здания и сооружения и их разлетающиеся части;
- образовавшиеся при взрыве и выделившиеся из поврежденного оборудования вредные вещества, содержание которых в воздухе рабочей зоны превышает ПДК.

Для предупреждения взрыва необходимо исключить:

- образование взрывоопасной среды;
- возникновение источника инициирования взрыва.

Взрывоопасную среду могут образовать:

- смеси веществ (газов, паров, пылей) с воздухом и другими окислителями (кислород, озон, хлор, окислы азота);
- вещества, склонные к взрывному превращению (ацетилен, озон, гидразин).

Источником инициирования взрыва являются:

- открытое пламя, горящие и раскаленные тела;

- электрические разряды;

- тепловые проявления химических реакций и механических воздействий;

- искры от удара и трения;

- ударные волны;

- электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение образования взрывоопасной среды в помещении должно быть достигнуто:

- применением герметичного производственного оборудования;

- применением рабочей и аварийной вентиляции;

- отводом, удалением взрывоопасной среды;

- контролем состава воздушной среды и отложений взрывоопасной пыли.

Предотвращение образования взрывоопасной среды внутри технологического оборудования должно быть обеспечено:

- герметизацией технологического оборудования;

- поддержанием состава и параметров среды вне области воспламенения;

- применением ингибирующих (химически активных) и флегматизирующих (инертных) добавок;

- конструктивными и техническими решениями при проектировании производственного оборудования и процессов.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- регламентацией огневых работ;

- предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;

- применением средств, понижающих давление во фронте ударной волны;

- применением материалов, не создающих при соударении искр;

- применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю;

- применением быстродействующих средств защитного отключения возможных электрических источников инициирования взрыва;

- ограничением мощности электромагнитных и других излучений;

- устранением опасных тепловых проявлений химических реакций и механических воздействий.

Предотвращение воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов при взрыве обеспечиваются:

- установлением минимальных количеств взрывоопасных веществ, применяемых в производственном процессе;

- применением огнепреградителей, гидрозатворов, водяных и пылевых заслонов, инертных газовых или паровых завес;

- применением оборудования, рассчитанного на давление взрыва;

- обваловкой и бункеровкой взрывоопасных участков или размещением их в защитных кабинах;

- защитой оборудования от разрушений при помощи устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны);

- применением отсечных и обратных клапанов;

- применением систем активного подавления взрыва;

- применением средств предупредительной сигнализации.

Организационно-технические мероприятия по обеспечению взрывобезопасности включают:

- разработку регламентов и норм ведения технологических процессов;

- организацию обучения, инструктажа и допуска к работе персонала;

- контроль и надзор за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности.

7.6.Мероприятия по снижению уровня взрывоопасности производств

Для каждого взрывопожароопасного объекта разрабатывается план ликвидации аварий.

На объектах с технологическими блоками I категории взрывоопасности весь персонал должен проходить специальный курс подготовки с использованием тренажеров, учебно-тренировочных полигонов.

Для систем противоаварийной защиты объектов I категории взрывоопасности применяется электронная или микропроцессорная техника, объектов II и III категорий – применение средств автоматизации.

Технологические объекты I категории взрывоопасности с периодическими процессами оснащаются системами контроля, управления и противоаварийной защиты пуска и выхода на регламентированный режим и режим остановки.

Для блоков I категории предусматривается установка автоматических быстродействующих запорных и отсекающих устройств с временем срабатывания не более 12 сек; для блоков II и III категорий - установка запорных и отсекающих устройств с дистанционным управлением и временем срабатывания не более 120 сек; для блоков с относительным энергетическим потенциалом $Q_в \leq 10$ допускается установка запорных устройств с ручным приводом и временем приведения в действие не более 300 сек.

Оборудование взрывоопасных объектов преимущественно должно располагаться на открытых площадках (наружных установках).

Запрещается размещать оборудование взрывопожароопасных производств:

- над и под вспомогательными помещениями;

- под эстакадами технологических трубопроводов с горючими, едкими и взрывоопасными продуктами;

- над площадками открытых насосных и компрессорных установок.

Для нагнетания легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) применяются центробежные бессальниковые насосы с двойным торцевым уплотнением.

Запрещается применять во взрывоопасных технологических системах гибкие шланги в качестве стационарных трубопроводов для транспортировки горючих сжиженных газов, веществ в парогазовом состоянии, ЛВЖ и горючих жидкостей (ГЖ). Трубопроводы не должны иметь фланцевых или других разъемных соединений.

Фланцевые соединения допускается только в местах установки арматуры или подсоединения трубопроводов к аппаратам.

В технологических системах с блоками I категории должна применяться стальная запорная и регулирующая арматура.

Для систем контроля, управления и противоаварийной защиты (ПАЗ) объектов с блоками I категории предусматривается третий независимый источник электропитания для безаварийной остановки объекта в расчетное время.

Электроприемники технологических систем с блоками I категории должны снабжаться электроэнергией по 1-ой категории надежности. Электроприемники систем с блоками II и III категорий по обеспечению надежности электроснабжения могут относиться к электроприемникам только 1-ой или 2-ой категории.

7.7. Примеры оценки пожаровзрывоопасности производственных объектов

Пример 7.1. Определить категорию пожаровзрывоопасности производственного помещения длиной 15,8 м, шириной 15,8 м и высотой 6 м, в котором размещен технологический процесс по восстановлению тетрахлорида кремния водородом. Водород подается по трубопроводу диаметром 0,02 м под давлением 1,01 МПа. Длина трубопровода от задвижки с электроприводом до реактора 15 м, объем реактора 0,9 м^3, время работы задвижки по паспортным данным 5,0 с без указания на надежность, температура в реакторе 1200 ^{0}С и в помещении +25^{0}С, расход газа по трубопроводу 0,12 м^3/ с, плотность газа 0,0817 кг/м^3, теплота сгорания водорода 119840 кДж/кг. Имеется аварийная вентиляция с кратностью воздухообмена 8, значение коэффициента Z принимаем равным 1.

<u>Расчет.</u> Определяем массу водорода, вышедшего в помещение при аварии:

$$m = V_{an} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \rho + q \cdot \tau \cdot \rho + \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot \rho = 0{,}9 \frac{1{,}01}{0{,}101} \cdot \frac{298}{1473} \cdot 0{,}0817 +$$

$$+ 0{,}12 \cdot 120 \cdot 0{,}0817 + 0{,}785 \cdot 15 \cdot 0{,}0817 = 0{,}149 + 1{,}176 + 0{,}962 = 2{,}287 кг.$$

Определяем значение ΔP:

$$\Delta P = \frac{2{,}287 \cdot 119840 \cdot 101 \cdot 1}{1200 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}01 \cdot 298 \cdot 1{,}267} = 50{,}4 \text{ кПа}$$

$$K = \frac{8}{3600} \cdot 120 + 1 = 1{,}267 .$$

Поскольку водород является горючим газом и ΔP >5 кПа, то помещение относится к категории А.

Пример 7.2. В помещении размерами 32 м × 16 м × 9 м находятся аппараты, в которых имеется ГЖ в количестве 15 кг в каждом. Температура вспышки ГЖ - 72 ^{0}С. Теплота сгорания ГЖ - 41,87 МДж/кг. Площадь размещения пожарной нагрузки при аварийном проливе 8 м^2. Температура жидкости в помещении 20 ^{0}С. Упругость пара ГЖ при 20 ^{0}С – 9 кПа. Молекулярная масса ГЖ - 168. Определить категорию пожароопасности помещения.

Решение. Для определения категории помещения рассчитываем скорость испарения и массу паров:

$$W = 10^{-6} \cdot 1\sqrt{168} \cdot 9 = 1{,}17 \cdot 10^{-4} \text{ кг/(м}^2\text{·с)}.$$

$$m_p = 1{,}17 \cdot 10^{-4} \cdot 8{,}0 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3} = 3{,}37 \text{ кг}.$$

Рассчитываем категорию пожароопасности:

$$\Delta P = \frac{3{,}37 \cdot 41870 \cdot 101 \cdot 03}{3686{,}4 \cdot 293 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}01} = 3{,}27 \text{ кПа}.$$

Помещение должно быть отнесено к категории В. Для определения подкатегории определяем пожарную нагрузку

$$Q = G_i \cdot Q_н = 15 \cdot 41{,}87 = 628 \text{ МДж}.$$

Принимаем в соответствии с НПБ 105-95: $S = 10$ м^2

Удельная пожарная нагрузка составит: $g = \frac{Q}{S} = 62{,}8$ МДж/м^2.

В соответствии с табл. 7.4 это помещение должно быть отнесено к В4.

Для дальнейшего уточнения используем уравнение (7.8).

При h = 9 $l_{пр}$ должно быть $l_{пр}$>(26-9)=17. В наших условиях $l_{пр}$ =10 м, т.е. условие подкатегории В4 не выполняется и помещение должно быть отнесено к подкатегории В3.

Проверку произведем по уравнению (7.9):

$$0{,}64 \cdot q \cdot H^2 = 0{,}64 \cdot 62{,}8 \cdot 9^2 = 3255{,}6 \text{ МДж}$$

Так как Q = 628 МДж, т.е. меньше 3255,6 МДж, то условие по уравнению (7.9) не выполняется и помещение должно быть отнесено к категории В3.

Пример 7.3. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки завода по переработке изношенных автомобильных шин. Площадь помещения S = 2000 м^2, высота h = 9 м, объем V = 18000 м^3. Максимальное количество горючих материалов в помещении 24000 кг. Транспортировка крошки осуществляется конвейерами и шнеками закрытого типа. В местах пылевыделения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет 12 кг, а на доступных - 8 кг. Крошка подается по транспортной линии в коли-

честве 1000 кг/ч. Крошка содержит до 12 % взрывоопасной пыли. Теплота сгорания резиновой крошки $Q_н$= 27000 кДж/кг.

Решение. Наибольшее количество взвешенной в воздухе пыли может быть в случае аварийного разрушения транспортной линии и выброса пыли в помещение. Время аварийного поступления пыли в помещения для случая ручного отключения системы составляет 5 минут. В этом случае количество пыли, поступившей в помещение, будет равно:

$$m_{ав} = m_{ап} + q \cdot t = 0 + \frac{1000 \cdot 0{,}12 \cdot 5}{60} = 10 \text{ кг}.$$

Масса пыли, отложившейся на труднодоступных поверхностях m_1 =12 кг, а доступных для уборки - m_2 =8 кг.

Расчетное количество осевшей пыли:

$$m_п = m_1 + m_2 = 12 + 8 = 20 \text{ кг}$$

Количество взвихрившейся пыли:

$$m_{вз} = 0{,}9 \cdot m_п = 18 \text{ кг}$$

Общее количество взрывоопасной пыли в помещении:

$$m = m_{ав} + m_{вз} = 10 + 18 = 28 \text{ кг}$$

Расчетное избыточное давление взрыва в помещении:

$$\Delta P = \frac{0{,}1 \cdot m \cdot Q_н \cdot Z}{0{,}8 \cdot V} = \frac{0{,}1 \cdot 28 \cdot 27000 \cdot 0{,}5}{0{,}8 \cdot 18000} = 1{,}76 \text{ кПа}$$

Пожарная нагрузка:

$$Q = G \cdot Q_н = 24000 \cdot 27 = 520800 \text{ МДж}.$$

Удельная пожарная нагрузка:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{520800}{2000} = 260 \text{ МДж/м}^2.$$

На основании НПБ 105-95 помещение следует отнести к пожароопасной категории В2, поскольку произведение

$$0{,}64 \cdot g \cdot h^2 = 0{,}64 \cdot 260 \cdot 9^2 = 13478 < Q = 520800 \text{ МДж}.$$

Пример 7.4. Определить категорию и класс взрывоопасной зоны помещения, в котором размешается технологический процесс с использованием ацетона.

Данные для расчета.

Ацетон находится в аппарате с максимальным объемом заполнения $V_{ап}$ равным 0,07 м^3, и в центре помещения над уровнем пола. Длина L_1 напорного и обводящего трубопровода диаметром d = 0,05 м равна соответственно 3 и 10 м. Производительность q насоса 0,01 м^3·мин$^{-1}$. Отключение насоса автоматическое. Объем $V_л$ помещения составляет 10000 м^3 (48×24×8,7). Основные строительные конструкции здания железобетонные, и предельно допустимый прирост давления $\Delta P_{доп}$ для них составляет 25 кПа. Кратность A аварийной вентиляции равна 10ч$^{-1}$.

Скорость воздушного потока u в помещении при работе аварийной вентиляции равна 1,0 м·с$^{-1}$. Температура ацетона равна температуре воздуха и составляет 293 К. Плотность ацетона ρ = 792 кг·м$^{-3}$.

Расчет:

Объем ацетона (м^3), вышедшего из трубопроводов, составляет:

$$V_{тр} = q\tau + \frac{\pi d^2}{4} L_1 = 0{,}01 \cdot 2 + \frac{3{,}14 \cdot 0{,}05^2}{4} \cdot 13 = 0{,}046,$$

где τ – время автоматического отключения насоса, равное 2 мин.

Объем поступившего ацетона (м^3) в помещение

$$V_a = V_{тр} + V_{ап} = 0{,}046 + 0{,}07 = 0{,}116.$$

Площадь разлива ацетона принимаем равной 116 м^2.

Скорость испарения ($W_{исп}$), кг·с$^{-1}$·м, равна

$$W_{исп} = 1{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot 7{,}7\sqrt{58{,}08} \cdot 24{,}54 = 1{,}44 \cdot 10^{-3}.$$

Масса паров ацетона ($M_п$), кг, образующихся при аварийном разливе равна

$$M_п = 1{,}44 \cdot 10^{-3} \cdot 116 \cdot 3600 = 601{,}3.$$

Следовательно, принимаем, что весь разлившийся ацетон (кг) за время аварийной ситуации, равное 3600 с, испарится в объеме помещения, т.е.

$$M_п = 0{,}116 \cdot 792 = 91{,}9.$$

Стехиометрическая концентрация (%) паров ацетона при $\beta = 4$ равна

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4{,}84 \cdot 4} = 4{,}91 \text{ (по объему).}$$

Концентрация (%) насыщенных паров получается равной

$$C_н = 100 \cdot \frac{24{,}54}{101{,}3} = 24{,}22 \text{ (по объему).}$$

Отношение $C_н/(1{,}9 \cdot C_{ст}) > 1$, следовательно, принимаем $Z = 0{,}3$.

Свободный объем помещения (м^3)

$$V_{св} = 0{,}8 \cdot 10000 = 8000.$$

Время испарения (ч) составит

$$T = \frac{91900}{1{,}44 \cdot 116} = 550 = 0{,}153.$$

Коэффициент получается равным

$$K = 10 \cdot 0{,}153 + 1 = 2{,}53.$$

Максимально возможная масса ацетона (кг)

$$M_{\max} = \frac{25 \cdot 4{,}91 \cdot 8000 \cdot 2{,}414 \cdot 2{,}53}{800 \cdot 100 \cdot 0{,}3} = 249{,}8.$$

Поскольку $M_п$ (91,9 кг)< $M_{\max}$ (249,8 кг), то помещение в целом относится к невзрывопожароопасным.

Расстояния $X_{н.к.п.в}$,$Y_{н.к.п.в}$ и $Z_{н.к.п.в}$ (м) составляют при уровне значимости $q = 5 \cdot 10^{-2}$:

$$X_{н.к.п.в} = H_{н.к.п.в} = 1{,}1958 \cdot 48\left(\frac{550}{3800}\ln\frac{1{,}27 \cdot 2{,}59}{2{,}91}\right)^{0{,}5} = 7{,}85;$$

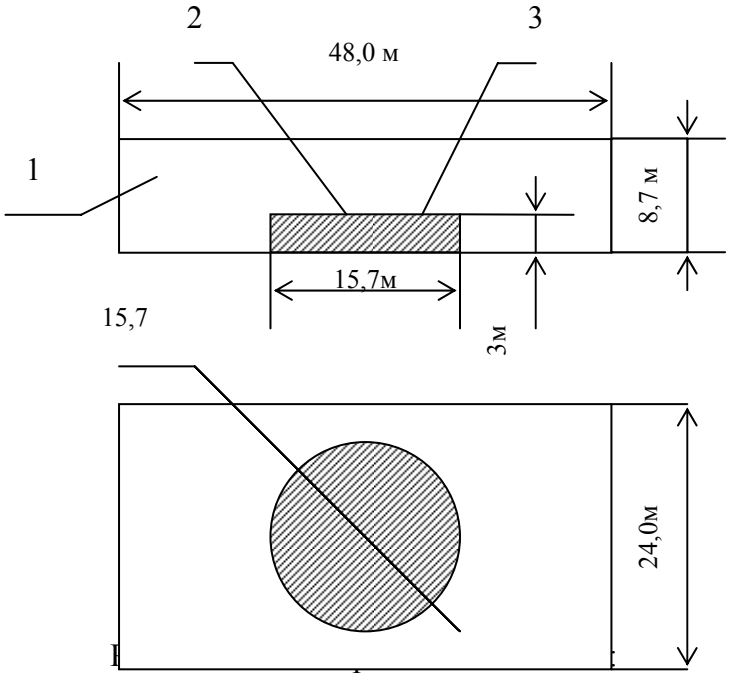
$$Z_{н.к.п.в} = 0{,}3536 \cdot 8{,}7\left(\frac{550}{3600}\ln\frac{1{,}27 \cdot 2{,}59}{2{,}91}\right)^{0{,}5} = 0{,}42,$$

где $C_0 = 24{,}22\left(\frac{91{,}9 \cdot 100}{2{,}53 \cdot 24{,}22 \cdot 2{,}414 \cdot 800}\right) = 2{,}59$ % (по объему).

Заключение.

Таким образом, взрывобезопасные расстояния составляют соответственно $R_б$>7,85м и $Z_б$>3 м.

Взрывоопасная зона с размерами $R_б \leq 7{,}85$ м и $Z_б \leq 3$ м относится к классу В1а. Схематически взрывоопасная зона изображена на рис.7.1.



1 – помещение; 2 – аппарат; 3 – взрывоопасная зона

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

П.1. Показатели безопасности промышленного изделия

Промышленная трубопроводная арматура – один из основных элементов, от надежной работы которых в значительной степени зависит безопасная эксплуатация опасных производственных систем (химические, нефтехимические, нефтеперерабатывающие производства, магистральный транспорт, теплоэнергетика и др.). В настоящее время в нормативно–технической документации (НТД) на проектирование, изготовление и эксплуатацию арматуры показатели безопасности (риска) отсутствуют. Не разработаны и методы оценки безопасности, учитывающие специфику арматуры, что не позволяет эффективно оценивать ее промышленную безопасность.

Безопасность арматуры – это состояние защищенности жизни, здоровья, имущества, отдельного человека, группы людей, общества и окружающей среды при нормальной эксплуатации арматуры, а также при критических ее отказах на опасных производственных объектах и последствиях таких отказов. Под критическим отказом арматуры понимается отказ, создающий угрозу для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды или приводящий к тяжелым экономическим потерям.

Безопасность – это комплексное свойство, зависящее как от свойств изделия, так и от внешних по отношению к нему обстоятельств возникновения опасности. Количественной мерой безопасности естественно считать вероятность того, что интересующее нас событие не произойдет. Эту вероятность обозначим S. Очевидно, что отказ может произойти:

- при штатных условиях эксплуатации;

- вследствие возникновения чрезвычайных обстоятельств (выхода из строя других элементов системы, пожара, затопления, землетрясения и т.п.);

- из–за неправильной эксплуатации изделия, использования его не по прямому назначению.

Кроме того, и нормально функционирующая арматура иногда служит источником опасности, например, движущиеся части арматуры могут травмировать обслуживающий персонал и т.п. Поэтому предлагается ввести следующие показатели безопасности (ПБ) арматуры:

a – номинальная S_n – безопасность при нормальном функционировании арматуры, ее правильном применении по прямому назначению;

b – функциональная S_f – безопасность при отказе в процессе нормальной эксплуатации арматуры;

c – аварийная S_c – безопасность при возникновении чрезвычайных обстоятельств (выход из строя других элементов системы, пожар, затопление, землетрясение и т.п.);

d – дисфункциональная S_d – безопасность при неправильном использовании арматуры (ошибки обслуживающего персонала) или использовании ее не по прямому назначению.

С другой стороны, безопасность арматуры существенно зависит от того, какие специальные меры и (или) средства защиты предусматриваются при ее применении.

В зависимости от наличия или отсутствия специальных средств (мер) защиты людей, окружающей среды от возможных опасностей, связанных с эксплуатацией арматуры, следует различать:

- *собственную безопасность p*, которая может возникнуть по факторам *a, b, c, d* без учета специальных средств (мер) защиты (обозначим такую безопасность путем добавления индекса «*p*» к соответствующему обозначению по п.п. *a, b*, *c, d,* например, S_{np} – номинальная безопасность без учета специальных средств (мер) защиты);

- *комплексную безопасность k*, которая может возникнуть по факторам *a, b, c, d* с учетом предусмотренных (имеющихся) специальных средств (мер) защиты (обозначим такую безопасность путем добавления индекса «*k*» к соответствующему обозначению по п.п. *a, b, c, d*, например, S_{nk} – номинальная безопасность с учетом специальных средств (мер) защиты).

Первые четыре понятия *a, b, c, d* характеризуют безопасность в зависимости от источника возникновения опасности, связанной с эксплуатацией изделия. Разделение показателей безопасности на собственные и комплексные связано с применением или неприменением на объекте, где установлена арматура, специальных средств (мер), защищающих людей и окружающую среду от возможных опасностей.

Комбинируя факторами *a, b, c, d*, с факторами *p* и *k*, получаем систему из восьми показателей безопасности.

В зависимости от того, рассматривается ли безопасность для группы людей, общества и окружающей среды или для отдельного человека (в пересчете на одного человека), следует различать:

- *интегральную безопасность* - определяется общим ущербом, который может возникнуть по факторам *a, b, c, d, p, k*;

- *индивидуальную (приведенную) безопасность* - устанавливается ущербом, который может возникнуть по факторам *a, d, c, p, k* и который может быть причинен отдельному человеку или в пересчете на одного человека.

Условимся обозначить соответствующий показатель дополнительным индексом *i*. Например, S_{npi} – номинальная индивидуальная (приведенная) безопасность без учета специальных средств (мер) защиты. Что касается интегральной безопасности, то она будет определятся по умолчанию отсутствием дополнительного индекса. Например, S_{np} – номинальная интегральная безопасность без учета специальных средств (мер) защиты. Очевидно, что понятия интегральной и индивидуальной безопасности могут быть применены к

каждому из восьми вышеописанных показателей в зависимости от схемы оценки безопасности: по общему ущербу или в пересчете на одного человека.

Так как потребителя в первую очередь волнует вероятность того, что ничего не произойдет, то целесообразно заменить показатели безопасности на показатели риска (ПР). Количественной мерой риска будем считать вероятность того, что соответствующее событие произойдет. Эту вероятность обозначим R. Так как событие либо происходит, либо не происходит, то показатели безопасности связаны с показателями риска соотношением

$$S + R = 1.$$

Понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события. В нашем случае вероятность возникновения опасного события (риск) – есть ни что иное, как частота события, а последствия оцениваемого события составляют непосредственное его содержание.

Все положения, оговоренные относительно показателей безопасности, включая систему индексации, распространяются и на показатели риска.

Рассмотрим показатели риска с точки зрения их места в процессе оценки безопасности арматуры, их увязки с показателями, необходимыми для расчета (оценки) безопасности при декларировании объекта, на котором арматура будет применяться (табл.П.1.1).

Риск номинальный собственный

Приемлемые значения $R_{пр}$ должны быть обеспечены на стадии проектирования арматуры, в том числе должны быть практически исключены возможные опасности:

- травмоопасность – наличие выступающих частей, острых кромок и концов, которые могут стать причиной ушибов, порезов, а также движущихся частей, требующих защиты от захвата конечностей, отсутствие устойчивости изделия и т.д.;

- термическая – наличие легкодоступных при эксплуатации частей изделия с высокими или низкими температурами;

- химическая – наличие материалов, которые могут привести к травмам, вследствие выделения вредных химических веществ;

- шумовая – недопустимо высокие уровни шума при работе изделия;

- вибрационная – недопустимо высокая вибрация при работе изделия;

- опасность излучения, распространяющихся от изделия – наличие радиочастотных, ионизирующих излучений высокой интенсивности и др.

Риск функциональный собственный

Для арматуры все виды возможных отказов могут быть заранее оговорены. Так, для запорной арматуры к таким отказам относятся:

- потеря герметичности по отношению к внешней среде, в том числе разрушение корпусных деталей, находящихся под давлением рабочей среды;

- потеря герметичности в затворе;

- невыполнение функции закрытия и открытия;

- самопроизвольное выполнение функции закрытия и открытия;

- необеспечение требуемого времени закрытия (открытия).

Таблица П.1.1

Показатели риска арматуры

Показатели риска (ПР) и их определения	Обозначения ПР	Классифицирующие факторы	Примечание
1	2	3	4
Риск номинальный собственный – вероятность того, что при нормальной работе без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{np}	*a, p*	
Риск номинальный комплексный – вероятность того, что при нормальной работе без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{nc}	*a, c*	
Риск функциональный собственный – вероятность того, что при отказе арматуры в процессе нормальной работы без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{fp}	*b, p*	
Риск функциональный комплексный – вероятность того, что при отказе арматуры в процессе нормальной работы без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{fc}	*b, c*	
Риск аварийный собственный – вероятность того, что при отказе арматуры вследствие чрезвычайных обстоятельств без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{ep}	*c, p*	
Риск аварийный комплексный – вероятность того, что при отказе арматуры вследствие чрезвычайных обстоятельств без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{ec}	*c, c*	
Риск дисфункциональный собственный – вероятность того, что при отказе арматуры вследствие неправильного ее применения без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей	R_{dp}	*d, p*	

среде *Риск дисфункциональный комплексный* – вероятность того, что при отказе арматуры вследствие неправильного ее применения без использования защитных средств (мер) будет причинен ущерб людям и (или) окружающей среде	R_{dc}	*d, c*	

В процессе согласования технического задания на проектирование изделия, исходя из конкретных условий эксплуатации, должно быть оговорено, какие из вышеперечисленных отказов являются критическими. Для этих отказов и должно быть обеспечено приемлемое значение R_{fp}.

Риск аварийный собственный

Как правило, на стадии согласования технического задания (ТЗ) на проектирование заказчик оговаривает возможные нештатные ситуации (уровень сейсмических воздействий, пожары, наводнения и т.п.) и вызываемые этими ситуациями критические отказы, перечень которых в общем случае может не совпадать с перечнем критических отказов, возникающих в нормальных условиях эксплуатации. Например, при пожаре фторопластовые детали начинают выделять фосген, который является источником соответствующей опасности. На основе этого перечня в процессе проектирования и отработки изделий обеспечивается приемлемое значение R_{ep}.

Риск дисфункциональный собственный

Исходя из анализа многолетних данных по эксплуатационной статистике, с заказчиком согласовывается перечень возможных ошибок обслуживающего персонала при эксплуатации изделий, ведущих к возникновению критических отказов. На основе этого перечня за счет конструктивных мер в процессе проектирования и обработки изделий обеспечивается приемлемое значение R_{dp}.

В случае, когда в процессе проектирования и отработки изделий не удается обеспечить приемлемые уровни рисков, в нормативной документации должны быть даны указания о мерах предупреждения возможности нанесения ущерба здоровью людей и (или) окружающей среде и необходимых действиях при возникновении опасных ситуаций. Если указанные мероприятия рассматриваются как недостаточные или их использование может сделать изделие непригодным для употребления, то надо указать на применение средств защиты, не зависимых от данного изделия, или же личных средств защиты. В том случае должны использоваться комплексные показатели риска R_{fc}, R_{ec}, R_{dc}, рассчитанные исходя из представленных разработчиком арматуры значений собственных рисков R_{fp}, R_{ep}, R_{dp}, и эффективности защиты, обеспечиваемой разработчиком системы.

Имеются два пути оценки риска:

- первый основан на сочетании качественного анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) с количественными оценками их критичности, выявляемой при анализе или наблюдаемой при испытаниях и эксплуатации;

- второй путь связан с попытками получить расчетными методами количественные значения всех видов риска на основе изучения законов распределения критических отказов при эксплуатации и анализа тяжести их возможных последствий.

Предлагается метод решения задачи, связанной с получением количественных значений собственных номинального R_{np}, функционального R_{fp}, аварийного R_{ep}, дисфункционального R_{dp} рисков для арматуры.

Необходимо отметить ряд особенностей различных составляющих риска. В частности, R_{fp}, по определению, связан с проявлением критических отказов. При этом необходимо учитывать важную особенность критических отказов арматуры: их последствия могут проявляться не только в непосредственной близости от отказавшего изделия, а практически в совершенно другом месте системы, в которой работает изделие. Так, при отказе быстродействующего отсечного клапана (несрабатывание по сигналу «закрытие») непосредственной опасности для обслуживающего персонала может и не возникнуть, однако не будет прекращено поступление рабочей среды на участок системы, где произошло возгорание. Это сделает невозможным быструю ликвидацию аварии и может привести к тяжелым последствиям для предприятия в целом – взрыву, пожару и т.д.

С другой стороны, оценки R_{ep} и R_{dp} должны учитывать возможность поражения как от нормально функционирующего изделия, так и при его кри-тическом отказе.

Что же касается собственного номинального риска изделия R_{np},то он, по определению, характеризует опасность для человека и окружающей среды нормально функционирующего изделия, т.е. не связан с его отказами.

Очевидно, что риск должен оцениваться, исходя из критических отказов и их возможных последствий. В ряде случаев речь может идти об оценке риска по ограниченной номенклатуре критических отказов, исходя из конкретных видов рассматриваемых последствий. Например, можно оценивать риск только химического заражения окружающей среды без учета опасности возникновения пожара. В этом случае при оценке риска должны учитываться только те критические отказы, последствия которых связаны с возможным химическим заражением окружающей среды.

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 следует различать отказы конструкционные (индекс «*r*») – связаны с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования; производственные (индекс «*m*») – с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или плохим качеством ремонта, выполняемого на предприятии; эксплуатационные (индекс «*u*») – с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации; деградационные (индекс «*w*») – обусловлены естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации. Как правило, критические деградационные отказы находятся за пределами установленных технической документацией ресурса и срока эксплуатации изделия.

Существуют еще два критерия, по которым классифицируются критические отказы.

По месту появления отказа:

- в зоне нахождения отказавшего изделия, например, поражение персонала токсичным продуктом в связи с разгерметизацией изделия;

- вне зоны расположения изделия (следствие его отказа).

По физико–химическим или физическим процессам:

- физико–химические процессы, связанные с продолжительностью эксплуатации изделия (коррозионное, эрозионное воздействие рабочей среды на металл основных деталей, его старение, развитие трещин как следствие напряженного состояния металла под воздействием давления рабочей среды, магистральных трубопроводов и пр.);

- физические процессы, связанные с функционированием изделия, совершением им циклов «открыто – закрыто» (механический износ трудящихся пар в подвижных соединениях, знакопеременные напряжения в узлах подвижных соединений – сильфон, сальник и неподвижных – фланцы, а также соединение – корпус – крышка).

Физико–химические процессы могут лежать в основе всех видов отказов: конструкционных, производственных, эксплуатационных и деградационных.

Кроме того, важно различать отказы по моменту их появления во времени (часы, циклы и т.п.).

Анализ статистических данных по отказам арматуры при ее эксплуатации подтверждает общепринятую закономерность о существовании периода, когда интенсивность отказов примерно постоянная. Этот промежуток времени называется периодом нормальной эксплуатации. Ресурс и срок службы арматуры, задаваемые в технической документации, находятся внутри этого периода. Поэтому рассматриваемые показатели риска относятся к периоду нормальной эксплуатации. В связи с тем, что критические деградационные отказы находятся за пределами ресурса и срока службы изделия, они при расчетах риска не учитываются.

Очевидно, что при оценке функционального риска должны учитываться конструкционные и производственные критические отказы, не зависящие от действий обслуживающего персонала, а при оценке дисфункционального риска – отказы, критические последствия которых проявляются только в случае ошибок обслуживающего персонала. Что касается аварийного риска, то при его оценке следует учитывать как конструкционные и производственные критические отказы, не зависящие от действий обслуживающего персонала, так и отказы, критические последствия которых проявляются только в случае ошибок обслуживающего персонала. Приведем уравнения для оценки собственных рисков арматуры с учетом конструкционных, производственных и эксплуатационных рисков:

$$R_{np} = 1 - (1 - R_{npr})(1 - R_{npm}),$$

где R_{npr}, R_{npm} –номинальный собственный соответственно конструкционный и производственный риск.

$$R_{fp} = 1 - (1 - R_{fpr})(1 - R_{fpm}),$$

где R_{fpr}, R_{fpm} -функциональный собственный, соответственно конструкцион-ный и производственный риск.

$$R_{ep} = 1 - (1 - R_{epr})(1 - R_{epm})(1 - R^*_{dpu}),$$

где R_{epr}, R_{epm} –аварийный собственный соответственно конструкционный и производственный риск; R^*_{dpu} –дисфункциональный собственный риск, связанный с ошибочными действиями обслуживающего персонала в процессе аварии.

$$R_{dp} = 1 - (1 - R_{dpu})(1 - R'_{dpu}),$$

где R_{dpu} –дисфункциональный риск, связанный с критическими отказами изделия при ошибочных действиях обслуживающего персонала, в том числе неправильном использовании изделия; R'_{dpu} –дисфункциональный собственный риск, характеризующий опасность для человека при ошибочных действиях обслуживающего персонала, в том числе неправильном использовании издедия.

В технической документации на изделие должно быть приведено значение интегрального собственного риска R_{ip}, учитывающего собственные номинальный и функциональный риски изделия, которые должны служить основанием для проектанта системы при оценке им интегральной безопасности системы в целом.

$$R_{ip} = 1 - (1 - R_{np})(1 - R_{fp}).$$

При малых величинах R_{np} и R_{fp}, когда можно пренебречь произведением $R_{np} \cdot R_{fp}$, и R_{ip} можно определить по формуле:

$$R_{ip} = R_{np} + R_{fp}.$$

Конструкционный риск $R_{pr} = f(R_{npr}, R_{fpr}, R_{epr})$.

Величины конструкционного риска закладываются на стадии проектирования и опытно – конструкторской отработки изделия. Как правило, в распоряжении конструктора арматуры имеется достаточно апробированных на практике нормативно–технических материалов (перечень рекомендованных к использованию конструкционных материалов, прочностные и другие виды расчетов, типовые конструкции основных узлов изделия, данные о результатах эксплуатации близких по конструкции изделий и пр.). Одна из важнейших задач конструктора при создании нового изделия – сведение к минимуму возможности проявления конструкционных отказов.

Существует важная особенность конструкционных отказов, также способствующая сведения к минимуму вероятности их возникновения. Так, при испытаниях предохранительного клапана произошел отказ, связанный с потерей герметичности в затворе клапана. Проведенный анализ показал, что причиной этому послужил неправильный выбор материала (фторопласт–4) уплотнения в затворе клапана, неустойчиво работающего при температуре рабочей среды более 180^0С. После замены материала уплотнения на материал с подтвержденной работоспособностью при температуре до 250^0С возможность отказа по выявленной причине была полностью исключена.

Таким образом, в случае реализации всех перечисленных выше процедур по созданию конструкционной безопасности изделия можно обеспечить пренебрежимо малые величины конструкционного риска в период эксплуатации изделия. Для сложных изделий,

для которых затруднена полноценная отработка при рабочих параметрах, оценка конструкционного риска крайне важна.

В этих случаях собственный конструкционный риск изделия

$$R_{pr} = 1 - \prod_{i=1}^{S}(1 - R_{ri} R_{rci}),$$

где S – число возможных ошибок на стадии проектирования, отработки, ис-пытаний и постановки изделия на призводство, которые могут привести к критическому отказу; R_{ri} – риск совершения i–ой ошибки, которая может привести к критическому отказу изделия; R_{rci} –риск того, что i–ая ошибка не будет обнаружена и устранена в процессе проектирования, отработки, испытаний и постановки изделия на производство.

В то же время, как показывают данные многолетней эксплуатации, применительно к промышленной трубопроводной арматуре, критические конструкционные отказы в процессе эксплуатации практически отсутствуют.

Производственный собственный риск $R_{pm} = f(R_{npm}, R_{fpm}, R_{epm})$.

Величина производственного риска так же, как и конструкционного, закладывается на стадии проектирования и опытно–конструкторской отработки изделия.

Производственный риск связан с двумя независимыми составляющими:

- риском того, что разработанная технология изготовления изделия будет содержать ошибки, следствием которых могут быть критические отказы изделия R^*_m;

- риском того, что ошибки, следствием которых могут быть критические отказы изделия R^{**}_m, будут совершены непосредственно в процессе производства при использовании нормально отработанных установившихся технологических процессов.

$$R_{pm} = 1 - (1 - R^*_m)(1 - R^{**}_m).$$

В процессе опытно-конструкторской отработки изделия и постановки его на производство могут быть выявлены и полностью устранены причины отказов, связанные с несовершенством технологических процессов. В случае реализации всех необходимых процедур по обеспечению правильности выбора технологических процессов изготовления изделия можно обеспечить пренебрежимо малые значения R^*_m.

Данные многолетней практики свидетельствуют о том, что критические производственные отказы арматуры, связанные с ошибочным выбором технологических процессов, практически не имеют места в процессе эксплуатации. Совершенно иначе обстоит дело с производственными отказами, вызванными нарушениями установившегося технологического процесса изготовления изделия и характеризуемыми риском R^{**}_m.

Возникновение таких отказов связано, с одной стороны, с ошибками персонала при изготовлении отдельных деталей изделия и проявлением скрытых дефектов материалов, с другой – с ошибками при контроле качества готовых деталей и изделий в целом, приводящихся к пропуску дефектных изделий в эксплуатацию. Сложность сведения к необходимому минимуму риска проявления этих отказов заключается в том, что даже при выяв-

лении их причин вероятность повторения тех или иных ошибок производственного и контролирующего персонала, сбоев в работе оборудования, контрольной аппаратуры всегда может иметь место. С учетом вышесказанного риск возникновения критического производственного отказа, связанного с нарушением на j–ой операции технологического процесса,

$$R^{**}_{mj} = R^{**}_{mwj} \cdot R^{**}_{mcj},$$

где R^{**}_{mwj} – риск нарушения на j-й операции технологического процесса,приводящего к критическому отказу изделия; R^{**}_{mcj} – риск пропуска при контроле детали (изделия) с дефектом, связанным с нарушением на j–й операции технологического процесса и приводящим к критическому отказу изделия, и вероятность того, что этот дефект не будет обнаружен и устранен в процессе приемо–сдаточных испытаний изделия.

Уравнение для оценки R^{**}_{m} будет иметь вид:

$$R^{**}_{m} = 1 - \prod_{j=1}^{Q}(1 - R^{**}_{mwj} \cdot R^{**}_{mcj}),$$

где Q – число операций технологического процесса, нарушения которых могут привести к критическому отказу изделия.

Таким образом, работа по обеспечению требуемых значений производственного риска включает:

- анализ технологических процессов с использованием методологии АВПКО для выявления операций, с нарушением которых связан риск проявления критических отказов;

- оценку R^{**}_{mwj} и R^{**}_{mcj} для этих операций;

- принятие необходимых решений на стадии создания изделия по отработке технологических процессов и контрольных операций, обеспечивающих требуемые значения R^{**}_{mwj} и R^{**}_{mcj};

- подтверждение достаточности принятых решений в процессе приемочных испытаний изделия и получения разрешения на его производство и применение;

- установление системы обеспечения стабильности отработанных технологических процессов, включающей статистический контроль, периодические испытания серийно выпускаемых изделий, проверки оборудования, обучение и аттестацию производственного и контролирующего персонала.

Практика свидетельствует, что при внедрении на предприятиях – изготовителях систем управления качеством (ИСО 9000, ТЦМ и др.) требуемые значения производственного риска могут быть обеспечены.

Приложение 2

П.2. Оценка риска аварий при хранении нефтепродуктов

Порядок разработки декларации безопасности опасных производственных объектов учитывает анализ условий возникновения и развития аварий, который включает:

1) выявление возможных причин возникновения и развития аварийных ситуаций с учетом отказов и неполадок оборудования, возможных ошибочных действий персонала, внешних воздействий природного и технического характера;

2) определение сценариев возможных аварий;

3) оценку количества опасных веществ, способных участвовать в аварии;

4) обоснование применяемых для оценки опасностей моделей и методов расчета.

Приведенные данные причин пожаров (табл.П.2.1) способствуют проведению идентификации опасных и вредных факторов на объектах хранения нефтепродуктов. Можно выделить следующие опасности: взрыв (В), пожар (П), отравление (О) персонала токсическими веществами, загрязнение (З) окружающей природной среды (ОПС). Все эти нежелательные события могут наступать в случае нарушения технологического регламента работ на объектах или отступления от инструкций. Можно обоснованно полагать, что в значительной мере указанные опасности будут проявляться совместно, т.е. взрыв будет сопровождаться пожаром, отравлением персонала и загрязнением ОПС. В свою очередь, пожар может привести к взрыву и последующему воздействию на персонал и ОПС. Загрязнение среды СНП - бензином и керосином (авиационном топливом) - в ряде случае может сопровождаться взрывом и пожаром. В табл. П.2.2 приведены эти опасности в зависимости от стадии технологического процесса и оборудования.

Все вышеназванные опасные события можно представить в виде формальных моделей - деревьев опасности. В настоящей работе деревья опасности построены только для двух событий: «Травма» и «Взрыв» (рис. П.2.1, П.2.2).

Для анализа модели «Травма» (см. рис.П.2.1) применительно к опасным факторам «Взрыв» и «Пожар» использовали данные о 226 пожарах на складах ЛВЖ и ГЖ, имевших в качестве источника загорания ЛВЖ. Эти пожары сопровождались гибелью 19 человек. Отсюда можно в первом приближении определить, что человеческая жизнь приходилась на 12 пожаров. Считая, что вероятность взрывов и пожаров с участием бензина равно 0,16, получаем вероятность смертельного травмирования, равную 0,013. Она близка к вероятности смерти человека вследствие сердечно-сосудистых заболеваний.

Таблица П.2.1

Причины пожаров на объектах хранения нефтепродуктов

Причины пожара	Количество пожаров	Процент от общего количества пожаров	Число погибших людей	Процент от общего числа погибших людей
Установленные поджоги	7	3,10	0	0
Неисправность оборудования	58	25,66	6	31,58
НПУЭ:				
- электрооборудования	17	7,52	3	15,78
- печей	1	0,44	0	0
- теплогенерирующих установок	0	0	0	0
- бытовых газовых устройств	0	0	0	0
НППБ электрогазовых работ	25	11,06	0	0
Взрывы	1	0,44	0	0
Сомовозгорание веществ и материалов	6	2,65	0	0
Неосторожное обращение с огнем	86	38,05	9	47,37
Грозовые разряды	1	0,44	9	0
Неустановленные	6	2,65	1	5,26
Прочие	18	7,96	0	0

Примечание. НПУЭ - нарушение правил устройства и эксплуатации; НППБ - нарушение правил пожарной безопасности.

Для определения вероятности наступления неблагоприятного события, например взрыва $Q_в$ (см. рис.П.2.2), надо знать вероятности исходных событий – образования парогазовой смеси $Q_{2.1}$ и появления источника воспламенения $Q_{2.2}$. Для определения вероятности первого исходного события $Q_{2.1}$ можно использовать данные для показателей, формирующих коэффициент K_1 (частные факторы взрывоопасности), приведенные в табл. П.2.3.

Таблица П.2.2

Опасности технологических процессов и оборудования

Технологическая операция	Функциональный блок (сооружение, оборудование, помещение)					
	СНЭ	ПНС	ТТ	РП	Л	ПХ
Слив, зачистка, налив (железнодорожные цистерны)	В,П,О,З					
Перекачка СНП		В,П,О,З	В,П,О,З			
Хранение СНП				В,П,О,З		
Ремонт резервуаров				В,О		
Отбор проб, проведение замеров уровня СНП	В,П,О			В,П,О	В,П,О	В,П,О,З

Примечание. СНЭ - сливно-наливная эстакада: ПНС - продуктово-насосная станция: ТТ технологический трубопровод (для перекачки СНП): РП - резервуарный парк: Л – лаборатория; ПХ помещения для хранения СИП, отобранных для анализа.

Таблица П.2.3

Взрывопожароопасные свойства бензина и керосина

Показатели, формирующие коэффициент K_1	Бензин БР-1	Керосин
Диапазон концентрационных пределов воспламенения	0,02	0,02
Нижний концентрационный предел воспламенения	0,13	0,13
Минимальная энергия зажигания	0,09	0,09
Температура среды	0,01	0,01
Давление среды (избыточное)	0	0
Плотность газа (пара) по отношению к плотности воздуха	0,10	0,10
Объемное электрическое сопротивление	0,06	0,06
Особо опасные характеристики	0	0

Анализ специфических свойств керосина разных марок и бензинов показал отсутствие у них принципиальных различий. Оба они являются легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ), но упругость паров бензина значительно (в среднем на 1 - 2 порядка) выше упругости паров керосина. Поэтому в условиях производства при нормальной температуре в закрытых объемах бензин может образовывать паровоздушные смеси, способные к взрыву от внешних источников, в то время как керосин практически их не образует.

Коэффициент K_1, имеющий достаточно высокое значение (0,41), можно связать с вероятностной составляющей, принимая субъективную вероятность образования паровоздушной смеси бензина близкой к 0,4. Что касается керосина, то эта величина в значительной мере зависит от его состава. Для авиационных топлив она приближается к 0,4, а для осветительного керосина может быть принята на порядок ниже, т.е. 0,04.

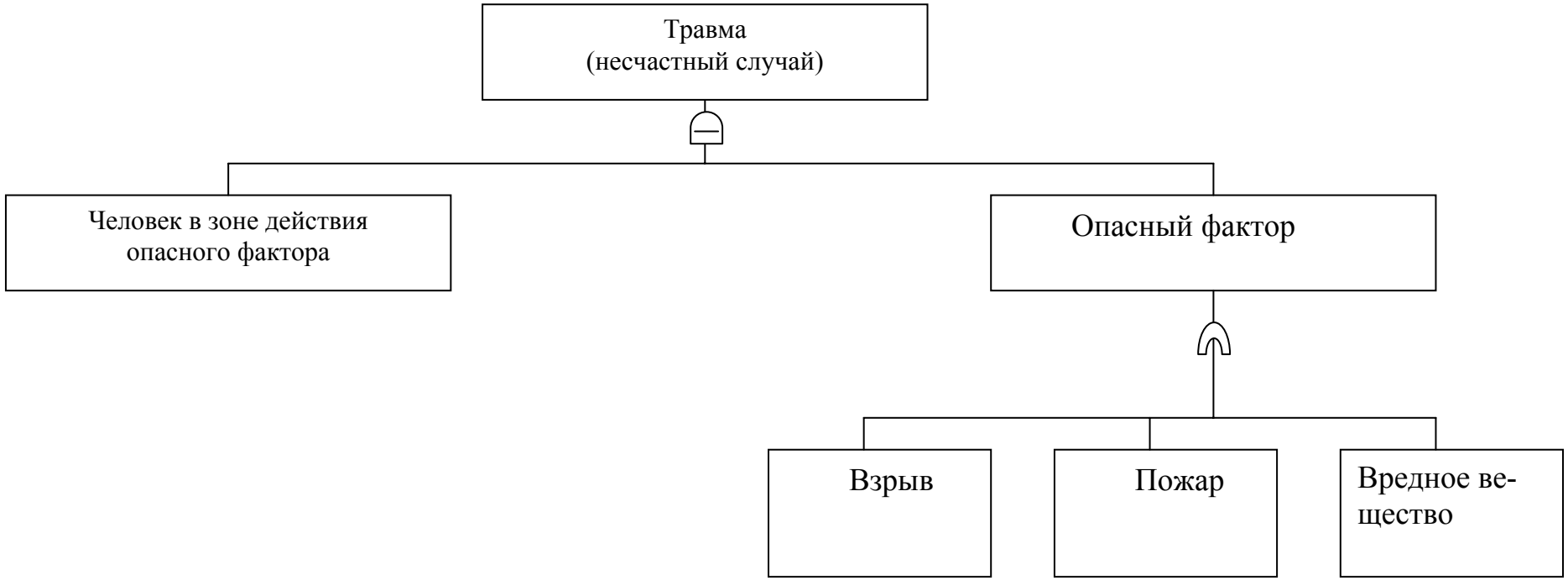
Статистика пожаров и взрывов свидетельствует о том, что источники воспламенения проявляются достаточно часто. Поэтому на этапе построения деревьев опасности (см. рис.П.2.2) можно принять субъективную вероятность появления источника зажигания (воспламенения) $Q_{2.2}$ равной 0,4 (такой же, как $Q_{3.13}$ = 0,40). В этом случае для модели оценки вероятности взрыва бензина 0н составит 0,4 х 0,4 = 0,16. Иначе говоря, один случай из шести может закончиться взрывом. Для осветительного керосина эта величина на порядок меньше (0,016), т.е. только 1 случай из 60 будет сопровождаться взрывом.

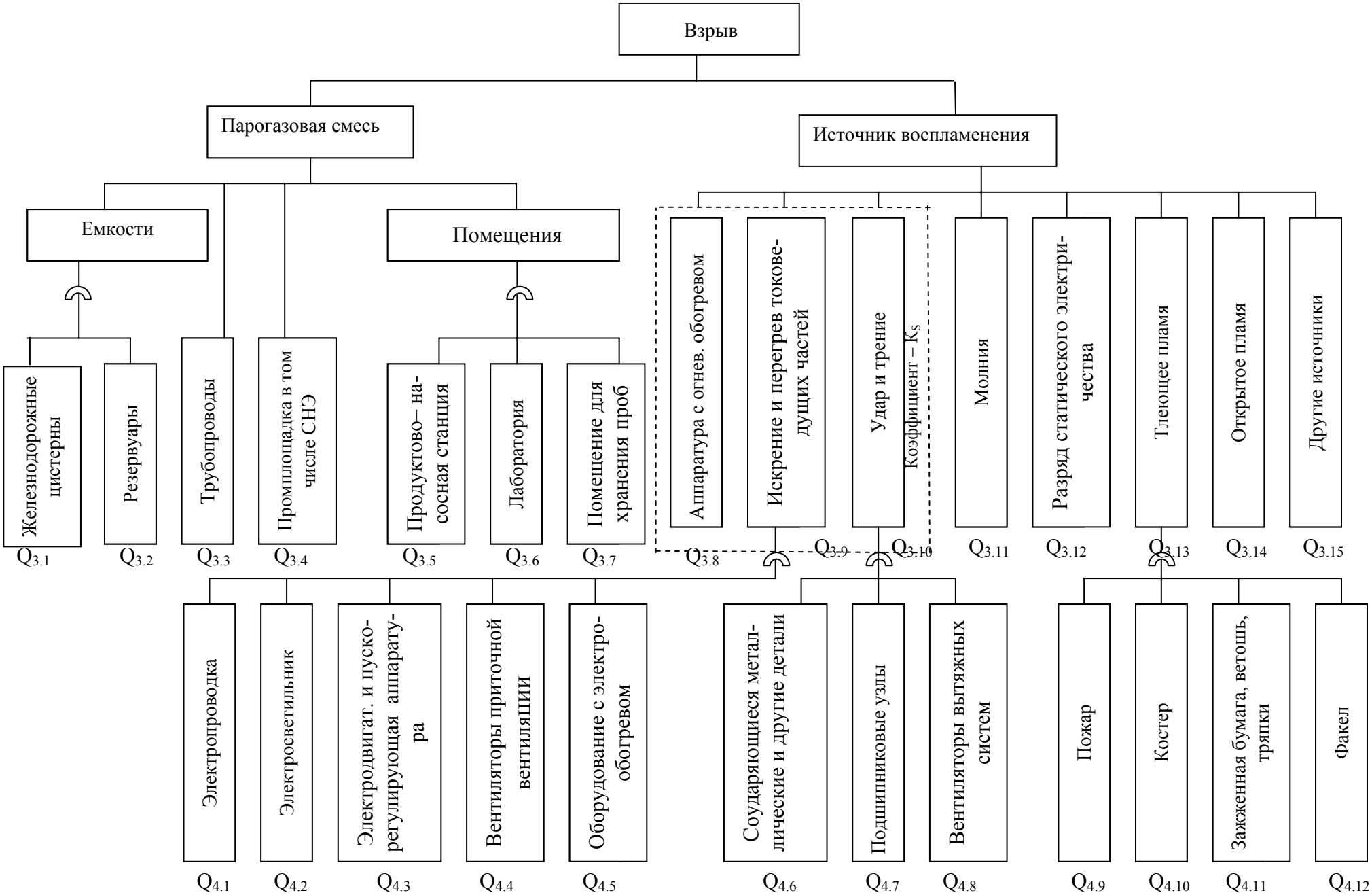
Наиболее значимым является анализ источников воспламенения. Свой вклад вносят аппаратура с огневым обогревом, искрение и перегрев токоведущих систем, удар и трение. Анализ реальных случаев позволил оценить вклад источников воспламенения равный 0,14. Из этой величины 0,12 приходится на искрение и перегрев токоведущих частей. Вероятности проявления других источников воспламенения следующие: атмосферное электричество (молния, грозовые разряды), $Q_{3.10}$ = 0,05; разряд статистического электричества, $Q_{3.11}$ =0,09; тлеющее пламя (транспорт), $Q_{3.12}$ = 0,02; открытое пламя (неосторожное обращение с огнем), $Q_{3.13}$ = 0,40; другие источники, $Q_{3.14}$ =0,10. Составляющие вероятности более низкого уровня на данном этапе не анализируются.

Проведенный анализ показал, что потенциальная вероятность аварии на объектах по хранению нефти и нефтепродуктов достаточно высокая. Существенный вклад в эту составляющую вносят ошибки персонала.

Причинами ошибок персонала могут быть рассеянность, привычные ассоциации, низкая бдительность, пропуски функционально-изолированных действий, ошибки альтернативного выбора, неадекватный учет побочных эффектов и неявных условий, вариативность движения рук, малая точность, слабая топографическая, пространственная ориентировка. Важным средством предотвращения аварий в данном случае является четкое соблюдение отраслевых правил, норм и инструкций.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что деревья опасности - важный инструмент проведения риск-анализа. Однако их достоверность и возможность использования при оценке реальной ситуации целиком определяются достоверностью исходной информации.


Травма
(несчастный случай)
Человек в зоне действия
опасного фактора
Опасный фактор
Взрыв
Пожар
Вредное ве-
щество


Взрыв
Парогазовая смесь
Источник воспламенения
Емкости
Помещения
Железнодорожные цистерны
Резервуары
Трубопроводы
Промплощадка в том числе СНЭ
Продуктово– насосная станция
Лаборатория
Помещение для хранения проб
Аппаратура с огнев. обогревом
Искрение и перегрев токоведущих частей
Удар и трение
Коэффициент – K_S
Молния
Разряд статического электричества
Тлеющее пламя
Открытое пламя
Другие источники
$Q_{3.1}$
$Q_{3.2}$
$Q_{3.3}$
$Q_{3.4}$
$Q_{3.5}$
$Q_{3.6}$
$Q_{3.7}$
$Q_{3.8}$
$Q_{3.9}$
$Q_{3.10}$
$Q_{3.11}$
$Q_{3.12}$
$Q_{3.13}$
$Q_{3.14}$
$Q_{3.15}$
Электропроводка
Электросветильник
Электродвигат. и пускорегулирующая аппаратура
Вентиляторы приточной вентиляции
Оборудование с электрообогревом
Соударяющиеся металлические и другие детали
Подшипниковые узлы
Вентиляторы вытяжных систем
Пожар
Костер
Зажженная бумага, ветошь, тряпки
Факел
$Q_{4.1}$
$Q_{4.2}$
$Q_{4.3}$
$Q_{4.4}$
$Q_{4.5}$
$Q_{4.6}$
$Q_{4.7}$
$Q_{4.8}$
$Q_{4.9}$
$Q_{4.10}$
$Q_{4.11}$
$Q_{4.12}$

Приложение 3

П.3. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов

Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ устанавливает требования о необходимости анализа риска опасных производственных объектов. В Методических указаниях по проведению анализа риска опасных промышленных объектов (РД 03-418-01) содержится общая методология оценки риска, которая включает анализ частоты, последствий неблагоприятных событий и неопределенностей результатов, а также отмечается, что меры по уменьшению вероятности аварии должны иметь приоритет над мерами по снижению последствий аварий.

Часто под техногенным риском подразумевают не произведение частоты нештатного события и ущерба от него, а саму величину вероятности наступления происшествия на опасном производственном объекте (поломка, авария, инцидент, несчастный случай).

К сожалению, известные и рекомендуемые к применению в нормативных документах методы качественной и количественной оценки техногенного риска (например, «потоковые графы», «деревья происшествий») имеют существенные недостатки. Во-первых, они чрезвычайно трудоемки и требуют высокой квалификации исполнителей. Во-вторых, для их реализации необходимы многочисленные количественные исходные данные. Указанные недостатки являются непосредственной причиной того, что эти методы не находят широкого практического применения.

Сложившуюся ситуацию может разрешить создание экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов, вычислительным ядром которой является имитационная модель процесса возникновения происшествий в человекомашинных системах. Такое моделирование, менее чувствительное к неточности и нечеткости исходных данных, дает возможность одновременно учитывать десятки разрозненных входных параметров. В свою очередь, сама экспертная система позволяет снизить квалификационный уровень пользователя, а также уменьшить трудоемкость выполняемых оценочных работ.

Разработана логико-лингвистическая (имитационная) модель процесса возникновения происшествия, которая является своего рода компромиссом между точностью получаемых количественных оценок и неопределенностью исходных данных. Отличительные особенности рассматриваемой модели:

- имитация зарождения и обрыва причинной цепи предпосылок возникновения происшествия;

- учет до 30 факторов, влияющих на безопасность человеко-машинных систем (табл.П3.1);

- использование метода Монте-Карло для количественной оценки вероятности возникновения происшествия в человеко-машинной системе;

- возможность диагностирования таких состояний системы «человек-машина-рабочая среда», как опасная и критическая ситуации, адаптация к неблагоприятным событиям.

В основу идеи моделирования положен учет влияния психофизиологических свойств человека-оператора, факторов надежности машины (оборудования), комфортности рабочей среды и уровня технологии на качество выполнения человеком операторской деятельности (рис. П.3.1). Ее основные этапы:

- восприятие и дешифровка информации о ходе выполнения операции;
- структурирование и стратификация полученных данных;
- обнаружение отклонений процесса от требований технологии;
- оценка необходимости и способов вмешательства в него человека;
- сравнение альтернативных действий и выбор из них конкурентоспособных;
- определение степени их приемлемости и эффективности;
- принятие и реализация решения по корректировке операции при необходимости.

В самом общем виде работу имитационной модели можно свести к нахождению точечного значения функциональной зависимости между оценками факторов опасности (см. табл.П.3.1) и вероятностью неблагоприятных событий в человеко-машинной системе Q, т.е.:

$$Q = f(x_1, x_2, \ldots, x_k),$$

где $x_1, x_2, \ldots, x_k$ — формализованные оценки факторов опасности.

Неявный вид этой зависимости определяется особенностями функционирования имитационной модели процесса возникновения происшествия в человеко-машинной системе, который характеризуется следующими основными моментами:

1) производственная деятельность человека потенциально опасна, так как связана с энергопотреблением (выработка, хранение, преобразование тепловой, механической, электрической, химической и других видов энергии).

2) производственная опасность проявляется в результате несанкционированного или неуправляемого выхода энергии, накопленной в технологическом оборудовании.

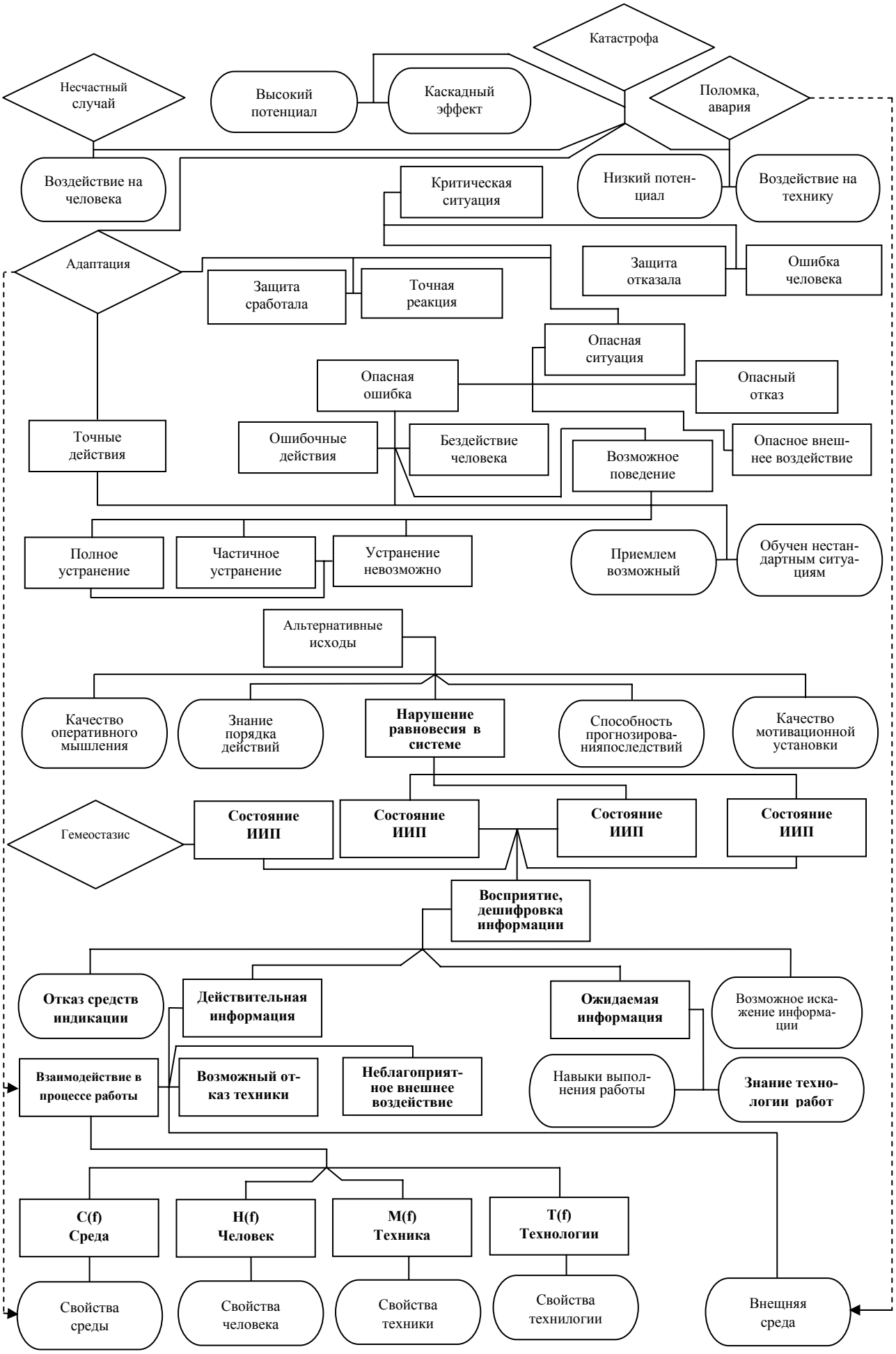

Катастрофа
Несчастный случай
Высокий потенциал
Каскадный эффект
Поломка, авария
Воздействие на человека
Критическая ситуация
Низкий потенциал
Воздействие на технику
Адаптация
Защита сработала
Точная реакция
Защита отказала
Ошибка человека
Опасная ситуация
Опасная ошибка
Опасный отказ
Точные действия
Ошибочные действия
Бездействие человека
Возможное поведение
Опасное внешнее воздействие
Полное устранение
Частичное устранение
Устранение невозможно
Приемлем возможный
Обучен нестандартным ситуациям
Альтернативные исходы
Качество оперативного мышления
Знание порядка действий
Нарушение равновесия в системе
Способность прогнозированияпоследствий
Качество мотивационной установки
Гемеостазис
Состояние ИИП
Состояние ИИП
Состояние ИИП
Состояние ИИП
Восприятие, дешифровка информации
Отказ средств индикации
Действительная информация
Ожидаемая информация
Возможное искажение информации
Взаимодействие в процессе работы
Возможный отказ техники
Неблагоприятное внешнее воздействие
Навыки выполнения работы
Знание технологии работ
C(f) Среда
H(f) Человек
M(f) Техника
T(f) Технологии
Свойства среды
Свойства человека
Свойства техники
Свойства технилогии
Внешняя среда

Таблица П.3.1

Оценки факторов опасности

Компонент	Код	Фактор опасности	«Возмущения»
Рабочая среда	С01	Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды	0v1
	С02	Качество информационной модели состояния среды	0v2
	С03	Возможность внешних опасных воздействий	2v0
	С04	Возможность внешних неблагоприятных воздействий	1v0
Человек-оператор	Н01	Пригодность по физиологическим показателям	0v1
	Н02	Технологическая дисциплинированность	0v2
	Н03	Качество приема и декодирования информации	0v1v2v3
	Н04	Навыки выполнения работы	0v1
	Н05	Качество мотивационной установки	0v1
	Н06	Знание технологии работ	0v1
	Н07	Знание физической сущности процессов в системе	0v1
	Н08	Способность правильно оценивать информацию	0v1
	Н09	Качество принятия решения	0v1v2
	Н12	Самообладание в экстремальных ситуациях	0v1
	Н13	Обученность действиям в нештатных ситуациях	0v1
	Н14	Точность корректирующих действий	0v1v2
Машина-оборудование	М01	Качество конструкции рабочего места оператора	0v1
	М02	Степень учета особенностей работоспособности человека	0v2
	М03	Оснащенность источниками опасных и вредных факторов	2v0
	М04	Безотказность прочих элементов	0v1
	М05	Безотказность других ответственных элементов	0v2
	М06	Длительность действия опасных и вредных факторов	1v0
	М07	Уровень потенциала опасных и вредных факторов	1v0
	М08	Безотказность приборов и устройств безопасности	0v1
Технология	Т01	Удобство подготовки и выполнения работ	0v1
	Т02	Удобство технического обслуживания и ремонта	0v2
	Т03	Сложность алгоритмов оператора	1v0
	Т04	Возможность появления человека в опасной зоне	1v0
	Т05	Возможность появления других незащищенных элементов в опасной зоне	1v0
	Т06	Надежность технологических средств обеспечения безопасности	0v1

3) возникновение происшествий - следствие развития причинной цепи предпосылок, инициаторами и составными частями которой являются ошибочные действия работающих, неисправности и отказы технологического оборудования, а также воздействующие на них внешние факторы.

Реализация вышеприведенных принципов заложена в рассматриваемой имитационной модели.

В частности, «возмущениями» в модели служат ошибки, отказы и неблагоприятные внешние воздействия, появление которых имитируется стохастическим выбросом в сеть определенной для каждого фактора числовой информации (см. последнюю колонку в табл.П.3.1) с распределениями, зависящими от первоначальных оценок факторов $x_1, x_2,\ldots, x_k$. Такие «возмущения» в соответствии с логикой сети выстраиваются в причинную цепь предпосылок, которая может, как обрываться (сработала защита, оператор устранил ошибку - умножение на ноль), так и приводить к «модельному» происшествию (достижение узлов «несчастный случай», «катастрофа», «поломка», «авария»). Число благоприятных и неблагоприятных исходов моделирования фиксируется, затем вычисляется частота возникновения происшествия.

Для формализации исходных данных по факторам опасности использована система балльных оценок, опирающаяся на универсальную лингвистическую шкалу («очень низко», «низко», «средне», «хорошо» ... - всего 11 разрядов-оттенков), что позволяет унифицировать как качественные, так и количественные исходные данные. Этот подход находит все большее применение при решении вопросов анализа риска.

Экспертная система при оценке факторов опасности позволяет выдавать пользователю необходимые разъяснения с опорой на действующие стандарты и нормативные документы. Например, для оценки фактора С01 «Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды» используется следующий набор правил:

ЕСЛИ *Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны* = 2,1-4,0 ПДК

И *Эквивалентный уровень шума на рабочем месте* = Превышение ПДУ до 10 дБ

И *Электрические поля промышленной частоты* = < ПДУ (для всего рабочего дня)

И *Уровень общей вибрации* = Допустимо

И *Параметры световой среды* = Вредно (1-я степень)

И *Показатели микроклимата* = Допустимо

ТО *Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды* = Средняя.

Заключительная лингвистическая оценка фактора С01 «Комфортность по физико-химическим параметрам рабочей среды» для конкретного опасного производственного объекта определяется с помощью Р 2.2.755-99 «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» и сводной табл.П.3.2.

Таблица П.3.2

Лингвистическая оценка условий труда

Фактические условия труда по Р2.2.755-99	Оценка условий труда	
	по Р2.2.755-99	лингвистическая
Более 1 фактора 4.0	4.0	Очень, очень низкая
1 фактор 4.0, более 1 фактора 3.4	4.0	Очень низкая
1 фактор 3.4, более 1 фактора 3.3	3.4	Низкая
1 фактор 3.3, более 1 фактора 3.2	3.3	Ниже среднего
1 фактор 3.2, более 2 фактора 3.1	3.2	Средняя
2 фактора 3.1	3.1	Выше среднего
1. фактор 3.1	3.1	Хорошая
Более 10 факторов 2.0	2.0	Очень хорошая
До 10 факторов 2.0	2.0	Высокая
Все факторы 1.0	1.0	Очень высокая

Отметим, что не все факторы опасности поддаются подобной однозначной лингвистической оценке. В табл.П.3.3 представлен пример балльной оценки фактора опасности М07 «Уровень потенциала опасных и вредных факторов» для конкретного опасного производственного объекта — изотермического хранилища жидкого аммиака.

Балльные и лингвистические оценки каждой составляющей фактора опасности (см. табл. П.3.3) выбираются в соответствии с нормативными документами. Например, составляющая «Объем запасенного аммиака» оценивается согласно Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ и табл. П.3.4, в которой приводится балльная и лингвистическая оценка запаса опасных веществ.

После процедур оценки исходных факторов опасности и определения с помощью имитационной модели вероятности возникновения происшествия на опасном производственном объекте возможна постановка задачи оптимизационного выбора предполагаемого комплекса мер безопасности на рассматриваемом объекте. Исходя из практического опыта, выделяются две возможные цели оптимизации:

А) при фиксированных ресурсах выбрать такой набор мер безопасности, чтобы снижение величины вероятности возникновения происшествия на опасном производствен-

ном объекте было максимальным.

В) выбрать такой комплекс мер безопасности, чтобы уменьшить величину вероятности возникновения происшествия до допустимого уровня при минимальных затратах.

Таблица П.3.3

Балльная и лингвистическая оценка по факторам опасности

Составляющие фактора опасности М07	Значимость (0-1,0)	Оценка составляющей		
		балльная (0-1)	лингвистическая	средневзвешенная
Объем запасенного аммиака	0,3	9	Чрезвычайно большой (8000 т)	2,7
Класс опасности аммиака	0,15	4	Опасный (IV степень)	0,6
Рабочее напряжение электроустановок	0,1	8	Высокое (380 В)	0,8
Рабочее давление сжатых газов	0,1	4	Среднее (до 1,5 МПа)	0,6
Перепад высот	0,1	7	Очень большой (до 25 м)	0,7
Механическая энергия подвижных элементов	0,1	6	Большая	0,6
Взрыво-, пожароопасность	0,15	2	Низкая	0,3
Итого по М07	∑=1,0	–	Большой	6,3

Для решения вышеприведенных оптимизационных задач при их высокой вычислительной емкости в экспертной системе используются алгоритмы динамического программирования.

С помощью базы данных экспертной системы можно скорректировать функциональную зависимость $Q = f(x_1, x_2,\ldots, x_k)$, что позволит настраивать и применять имитационную модель для различных типов опасных промышленных объектов (емкости с опасными веществами/ баллоны под давлением/ грузоподъемные машины и т.д.) на различных этапах их жизненного цикла.

Таблица П.3.4

Балльная и лингвистическая оценка запаса опасных веществ

Предельное количество опасных веществ	Оценка запаса	
	балльная	лингвистическая
Отсутствует	0	Отсутствует
Менее 0,0003	1	Пренебрежительно малый
0,0003-0,001	2	Очень малый
0,001-0,003	3	Малый
0.003-0,01	4	Ниже среднего
0,01-0,3	5	Средний
0,3-1	6	Выше среднего
1-3	7	Большой
3-10	8	Очень большой
10-30	9	Чрезвычайно большой (огромный)
Более 30	10	Катастрофически большой

В настоящее время концепция описанной выше экспертной системы реализована в виде программного комплекса «*technoHAZARD* 2.0» который разработан в рамках федеральной целевой научно-технической подпрограммы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф». Программа работает под управлением операционной системы *Windows* 9*x* и имеет доступный интерфейс. Типичный уровень пользователя соответствует примерно уровню инженера по технике безопасности.

Приложение 4

П.4. Оценка риска при декларировании безопасности опасных производственных объектов

Научно-технический прогресс и развитие производительных сил общества приводят к всевозрастающему насыщению техносферы рукотворными (техническими) объектами, в которых аккумулированы искусственно созданные энергетические запасы, представляющие потенциальную опасность для человека и окружающей его среды.

Человек создает технические объекты из утилитарных соображений как устройства, совершающие полезную (для человека) работу. Непременным условием совершения любой работы является изменение (уменьшение) потенциала запасенной в техническом объекте энергии (или подводимой к нему). Диссипация – одно из основных свойств энергии, а энтропия любой закрытой системы, представленной самой себе, согласно второму началу термодинамики, самопроизвольно увеличивается. Созданный технический объект направляет этот процесс в определенное русло для совершения помимо диссипации и полезной с точки зрения человека работы. Любое отклонение от такого «искусственного» процесса может привести к самопроизвольному высвобождению накопленной энергии из технического объекта – к аварии. Поэтому любой технический объект, имеющий или использующий искусственный запас энергии, потенциально опасен. К тому же скорость нарастания численности технических объектов в техносфере сопоставима или больше скорости увеличения их системной надежности.

Для опасных производственных объектов (ОПО) риск R есть мера опасности и численно выражается математическим ожиданием ущерба U при функционировании ОПО:

$$R = M[U]. \qquad (П.4.1)$$

Определим и обозначим также следующие события:

- событие A – авария на ОПО (нерасчетное внезапное высвобождение энергии);
- событие C_i – реализация аварии по i-му сценарию;
- событие B_i – причинение ущерба U_i ОПО или сторонним объектам.

Тогда формулу (П.4.1) можно представить в виде

$$R = M[U] = \Sigma P(B_i)\, U_i, \qquad (П.4.2)$$

где $P(B_i)$ – вероятность причинения ущерба U_i ОПО и сторонним объектам.

Формулу (П.4.2) полезно разбить на два слагаемых – аварийный $R_а$ и штатный риск $R_ш$, т.е.:

$$R = R_а + R_ш = \Sigma P(B_i) \cdot U_i + [P(B_n) \approx 1]\, \Sigma U_{ni}, \qquad (П.4.3)$$

где U_{ni} - размер средних ущербов, причиняемых ОПО и сторонним объектам при штатном функционировании ОПО от деятельности других экономических субъектов $U_{тэо}$ и платы за загрязнение окружающей среды $U_{ооc}$.

Оценка величины $U_{ооc}$ на стадии проектирования проводится с помощью процедуры оценки воздействия предполагаемой деятельности на окружающую среду (ОВОС), а на

стадии эксплуатации – с помощью действующих индивидуальных нормативно-разрешительных документов ОПО – томов предельно допустимых выбросов (ПДВ), предельно допустимых сбросов (ПДС) и лимитов размещения отходов. Оценка величины $U_{тэо}$ на стадии проектирования проводится с помощью процедуры ТЭО (технико-экономического обоснования намечаемой деятельности), на стадии эксплуатации – с помощью процедуры аудита финансово-экономического характера.

Оценка величины аварийного риска $R_а = \Sigma P(B_i) \cdot U_i$ как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации ОПО проводится в рамках процедуры декларирования промышленной безопасности ОПО.

Члены произведения первого слагаемого формулы (П.4.3) отличаются от аналогичных членов второго слагаемого тем, что величины вероятностей очень малы, а величины ущербов очень высоки.

Условимся далее под термином «риск» или «техногенный риск» понимать риск $R_а$ при нештатном функционировании ОПО.

Для оценки техногенного риска сначала определим событие B_i через события A и C_i:

$$B_i = A \bigcap C_i. \qquad (П.4.4)$$

Так как события A и C_i являются совместными, то искомая вероятность события, связанного с причинением ущерба U_i сторонним объектам, определяется как

$$P(B_i) = P(A \bigcap C_i) = P(A)\, P(C_i \backslash A). \qquad (П.4.5)$$

Подставляя выражение (П.4.5) в формулу (П.4.3), получим

$$R = R_а + R_ш = \Sigma P(A) \cdot P(C_i \backslash A) \cdot U_i + U_{ооc} + U_{тэо} \qquad (П.4.6)$$

или в более сжатом виде для техногенного риска $R_а$:

$$R_а = \Sigma P(A) \cdot P(C_i \backslash A) \cdot U_i = [P(A)]\, [\Sigma P(C_i \backslash A) \cdot U_i]. \qquad (П.4.7)$$

Первый член $[P(A)]$ произведения (П.4.7) описывает причинные составляющие техногенного риска $R_а$, а второй член - $P(C_i \backslash A) \cdot U_i$ - последствия возможной аварии.

Оценка последствий возможных аварий на ОПО, т.е. нахождение в выражении (П.4.7) второго члена, в настоящее время достаточно изучена – существуют многочисленные методики оценок последствий, которые хорошо зарекомендовали себя на практике. В большинстве своем они базируются на методах анализа «деревьев сценариев развития аварии». На рис.П.4.1 приведен пример одного из таких «деревьев».

Таким образом, анализ последствий возможных аварий привязан к конкретному объекту и отражает его индивидуальную специфику (место расположения, энергетические запасы, особенности технологии и т.д.).

Сложнее обстоит дело с оценкой величины вероятности возникновения самой аварии $P(A)$. Существующие методики оценки величины $P(A)$ сложны, громоздки и трудоемки в основном из-за отсутствия, неточности и неопределенности исходных данных.

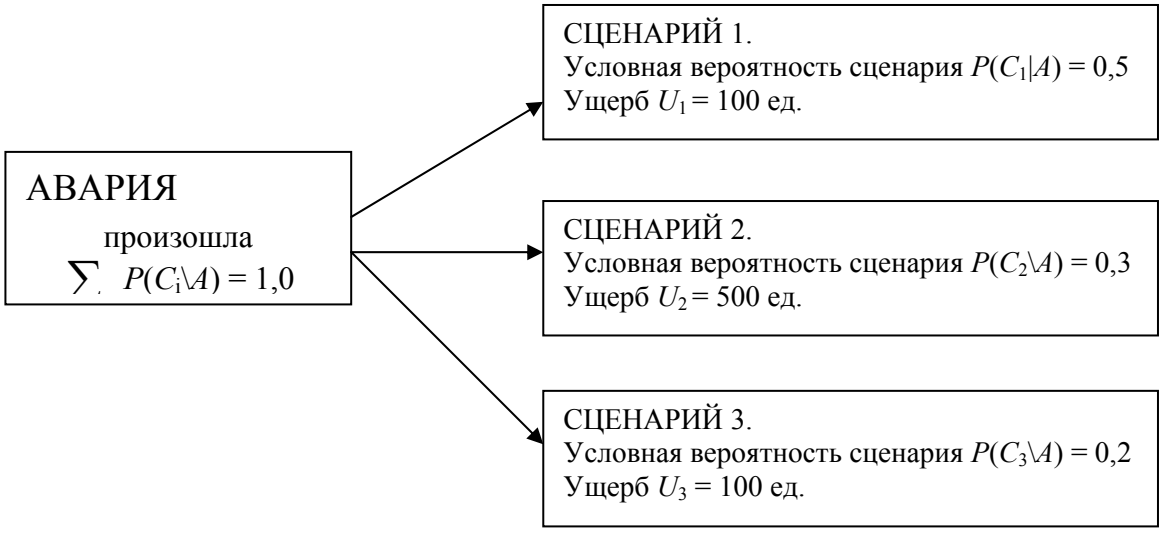


Рис.П.4.1. Дерево исходов аварии.

Поэтому на практике обычно величину $P(A)$ принимают как среднестатистическую по отрасли для данного типа ОПО, что не всегда отражает специфику декларируемого ОПО. К тому же из рассмотрения выпадает целый класс причин возникновения аварий и соответственно становится затруднительным рекомендовать индивидуальные меры безопасности, направленные на снижение вероятности возникновения аварии для конкретного ОПО, хотя, как показывает практика, меры по снижению вероятности аварии на 2…3 порядка эффективнее мер, направленных на снижение возможных ущербов по критерию «затраты – результаты».

Наиболее часто при анализе риска ОПО употребляется термин «вероятность (частота) аварии», который используется с размерностью 1/год. Условимся далее обозначать величину, характеризующую повторяемость события-аварии, как λ (1/год). Величину λ можно легко вычислить для некоторой отраслевой совокупности действующих объектов, если известна статистика аварий по отрасли за несколько последних лет:

$$\lambda = \frac{\textbf{\textit{Число аварий}}}{(\textbf{\textit{Число объектов}})(\textbf{\textit{Период рассмотрения}})} \qquad (П.4.8)$$

Оцененная подобным образом среднеотраслевая характеристика $\lambda_{отр}$ не отражает индивидуальность конкретного ОПО, а поэтому затруднительно ранжировать ОПО по степени опасности и, следовательно, рекомендовать внедрение конкретных (адресных) мер безопасности на определенных ОПО в первую очередь, т.е. в конечном счете, эффективно расходовать и распределять ресурсы на совершенствование безопасности.

Такую же размерность имеет и средняя интенсивность аварий на ОПО, которая линейно зависит от средней интенсивности выполняемых на ОПО работ (I_n). Так как для «идеального» ОПО $P(A) = \text{const}$ в силу свойства устойчивости частоты, то

$$\lambda = P(A) \cdot I_{\text{п}}. \qquad (\text{П}.4.9)$$

В качестве временного периода усреднения обычно принимают 1 год.

В качестве случайной величины выбирается момент времени наступления отказа t или интервал времени между двумя последовательными отказами Δt (оценивается в часах для простых элементов). Имея статистические оценки этих случайных величин, можно вычислить другие важные в теории надежности показатели – безотказность, наработка на отказ и др.

Установив функцию распределения этих случайных величин t или Δt, можно вычислить вероятность наступления отказа за какой-то промежуток времени.

Известно, что вероятность $P_k(\Delta t)$ наступления k событий-отказов для простого элемента (узла) за интервал времени Δt выражается законом распределения Пуассона:

$$P_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \cdot \Delta t)^k}{k!} \exp(-\lambda\, \Delta t) \qquad (\text{П}.4.10)$$

Из (П.4.10) следует, что функция плотности вероятности случайной величины Δt для простейшего потока событий-отказов имеет вид показательного (экспоненциального) распределения с параметром λ:

$$f(\Delta t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda\, \Delta t), \qquad (\text{П}.4.11)$$

где λ трактуется как интенсивность (плотность) потока событий-отказов.

Если предположить, что аналогичное распределение характерно и для ОПО, то область ординат, принимаемых в рассмотрение при анализе риска ОПО, будет находиться очень близко к началу координат.

При условии известной малости величин интенсивности λ и вероятности аварий $P(A)$ можно пренебречь видом функции "«плотности вероятности"» $f(\Delta t)$ на интересующем нас участке и принять ее постоянной, т.е. $f(\Delta t) = \lambda$. Тогда справедливы следующие соотношения:

$$P_{\Delta t}(A_t) = \lambda[\Delta t = 1 \text{ год}], \qquad (\text{П}.4.12)$$

где $P_{\Delta t}(A_t)$ – это вероятность события A_t, т.е. наступления аварии в течение года.

Вероятность $P_{\Delta t}(A_t)$ – безразмерная величина и численно совпадает с интенсивностью аварий λ на ОПО. Величину интенсивности аварий λ можно легко оценить, опираясь на соотношение (П.4.9).

Таким образом, при анализе риска используются понятия «интенсивность» и «вероятность» аварии, которые в силу редкости событий-аварий численно совпадают, но имеют различные размерности:

- интенсивность аварий λ (1/год) – плотность потока событий-аварий во времени, прямо пропорциональна интенсивности работ I_n с коэффициентом пропорциональности, равным $P(A)$;

- вероятность аварии $P(A)$ (безразмерная величина) – числовая характеристика уровня опасности конкретного ОПО; одна из основных составляющих техногенного риска.

Величина вероятности события, что «отказ произойдет за определенный период времени» $P_{\Delta t}(A_t)$, которая широко используется в теории надежности для анализа отказов простых элементов и узлов, неприменима в анализе риска сложных систем (ОПО), так как в этом случае исследователей интересует сам факт аварийного события, и в меньшей степени – конкретный момент времени наступления отказов как случайная величина Δt.

Функция плотности интервалов времени между двумя последовательными авариями $f(\Delta t)$ для ОПО может не иметь экспоненциального распределения. Значения $P(A)$ реально очень малы, а поэтому и математический аппарат случайных величин теории вероятностей в данном случае малоэффективен.

Одним из возможных решений создавшейся проблемной ситуации является численная оценка вероятности $P(A)$ возникновения аварии на ОПО с помощью имитационного моделирования (ИМ) процесса возникновения происшествия в системе «Оператор – Оборудование – Рабочая среда». Такое моделирование в известной степени является компромиссным решением между неопределенностью исходных данных и точностью получаемых оценок. Кроме того, с помощью ИМ можно оптимизировать применение комплекса мер безопасности, направленных на снижение $P(A)$, т.е. предупреждения аварий на конкретном ОПО.

Приложение 5

Таблица П.5

Физико-химические свойства веществ

№ п/п	Наименование вещества	Химическая формула	Мол. масса г/моль	Плотность при 20°С, кг/м^3	Температура кипения, °С	Давление насыщенных паров при 20 °С, мм.рт.ст.	Температура вспышки, °С	Нижний концентр. предел воспламенения	
								% об.	г/м$^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Амилацетат (пентилацетат)	$CH_3COO(CH_2)_4CH_3$	130,19	875,0	149	-	43	1,1	69,9^x
2.	Амилбутират (пентилбутират)	$CH_3CH_2CH_2COO(CH_2)_4CH_3$	158,24	862,9	186,4	-	70	0,8	56,5^x
3.	Амилпропионат (пентилпропионат)	$CH_3CH_2COO(CH_2)_4CH_3$	144,22	871,4	168,6	2,18	56	0,9	57,9^x
4.	Амилфорамиат (пентилформиат)	$HCOO(CH_2)_4CH_3$	116,16	885,3	130,4	-	30	1,5	77,8^x
5.	Амиловый спирт (1-пентанол)	$CH_3(CH_2)_4OH$	88,146	814,4	138	2,8	49	1,3	51^x
6.	Анилин	$C_6H_5NH_2$	93,13	1022	184,4	0,3	76	1,3	54^x
7.	Ацетальдегид (этаноль)	CH_3CHO	44,05	783	20,2	755	-38	4	73
8.	Ацетон	CH_3COCH_3	58,08	790,8	56,24	175	20	2,5	60
9.	Ацетонитрил	CH_3CN	41,05	783	81,6	73	2	3	50
10.	Ацетофенон	$C_6H_5COCH_3$	120,2	1026	202,3	0,3	86	1,1	59^x
11.	Бензол	C_6H_6	78,12	879	80,1	75	-11	1,4	49
12.	Бензинхлорид	$C_6H_5CH_2Cl$	126,59	1100	179,3	0,9	60	1,1	55
13.	Бутилацетат	$CH_3COO(CH_2)_3CH_3$	116,16	882,5	126,5	9,99	29	1,4	72,6^x
14.	Бутилбутират	$CH_3(CH_2)_2COO(CH_2)_3$	144,22	870,9	166,6	-	54	1,0	64^x

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15.	Бутиловый спирт (1-бутанол)	$CH_3(CH_2)_3OH$	74,12	809,8	117,5	5	35	1,8	$59,5^x$
16.	втор- Бутиловый спирт (2-бутанол)	$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$	74,12	806,5	99,5	13	24	2,2	$72,8^x$
17.	трет- Бутиловый спирт (2-метил-2-пропанол)	$(CH_3)_3COH$	74,12	788,7	82,4	30	12	2,4	$79,4^x$
18.	Бутилпропионат	$CH_3CH_2COO(CH_2)_3CH_3$	130,19	875,4	146	3,5	43	1,1	$63,9^x$
19.	Бутилформиат	$HCOO(CH_2)_3CH_3$	102,12	888,5	106,8	21,9	15	1,8	82^x
20.	Бутилцаллозольв (бутилг-ликоль)	$HOCH_2CH_2O(CH_2)_3CH_3$	1183,2	901	171	0,6	61	1,3	60
21.	Н-гексан	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	86,18	659,35	68,8	120	-20	1,2	$46,2^x$
22.	2-гексанон	$CH_3(CH_2)_3COCH_2$	100,16	817	127,2	2,6	23	1,2	50
23.	Гексилацетат	$CH_3COO(CH_2)_5CH_3$	144,22	$877,9^x$	171,5	-	57	0,96	$61,8^x$
24.	Гексилбутират	$CH_3(CH_2)_2COO(CH_2)_5CH_3$	172,27	865	205	-	84	0,68	$52,3^x$
25.	Н-гиксиловый спирт (1-гексанол)	$CH_3(CH_2)_5OH$	102,18	813,6	155,7	0,4	62	1,14	52^x
26.	Втор-гексиловый спирт (2-гексанол)	$CH_3(CH_2)_3CH(OH)CH_3$	102,18	815,9	139,9	1,4	50	1,33	$60,7^x$
27.	Гексилформиат	$HCOO(CH_2)_5CH_3$	130,19	881,3	155,5	-	48	1,3	75^x
28.	Гептан	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	100,21	683,7	98,4	36	-4	1,1	46
29.	Гептилацетат	$CH_3COO(CH_2)_6CH_3$	158,24	875^x	192,4	-	70	0,82	58^x
30.	Н-гептиловый спирт	$CH_3(CH_2)_6OH$	116,21	821,9	176,3	0,1	74	0,96	$49,8^x$
31.	Втор-гептиловый спирт (2-гептанол)	$CH_3(CH_2)_4CH(OH)CH_3$	116,21	816,7	160,4	0,3	63	1,08	56
32.	Гидразин	H_2NNH_2	32,05	1008,3	113,5	16	38	4,7	60
33.	Декан	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	142,29	730	173,8	0,9	47	0,76	$48,3^x$
34.	Децилoвый спирт (1-деканол)	$CH_3(CH_2)_9OH$	158,28	829,7	231	-	110	0,66	$46,6^x$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35.	Диацетоновый спирт (4-гидрокси-4-метил-2-пентанон)	$CH_3COCH_2COH(CH_3)_2$	116,16	933	164	0,9	57	1,2	64 ^{x}
36.	Дибутиловый эфир	$CH_3(CH_2)_3O(CH_2)CH$	130,23	769	141	4,4	25	0,9	52 ^{x}
37.	N,N – Диметиланилин	$C_6H_5N(CH_3)_2$	121,18	956,3	194,2	0,5	63	1,2	60
38.	1.1. – Диметилгидразин	$(CH_3)_2NNH_2$	60,11	791,4	63	122	-18	2,4	60
39.	Диметилсульфид	$(CH_3)_2S$	62,13	844,9	37,3	400	-25	3,5	97 ^{x}
40.	N, N – Диметилформамид	$HCON(CH_3)_2$	73,09	944,5	153	3	58	2,3	75 ^{x}
41.	1,4 - Диоксан	$C_4H_8O_2$	88,10	1033,7	101,32	31	11	2	70
42.	Дефинил (бифенил)	$C_6H_5C_6H_5$	154,21	1180	255,9	0,005	113	0,7	45
43.	Дифениловый эфир	$C_6H_5OC_6H_5$	170,21	1148	257,9	0,06	115	0,8	55
44.	1, 2 - Дихлорбензол	$C_6H_4Cl_2$	147,01	1304,8	179,2	1	66	2,2	130
45.	1,1 - Дихлорэтан	CH_3CHCl_2	98,97	1175,7	57,3	183	-10	5,6	225
46.	1,2 - Дихлорэтан	$ClCH_2CH_2Cl$	98,97	1257	84,1	65	13	6,2	250
47.	Диэтиловый эфир	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	74,12	713,5	34,5	440	-41	1,9	62,8 ^{x}
48.	Додекан	$CH_3(CH_2)_{10}CH_3$	170,34	748,8	216	0,06	77	0,6	40
49.	Изоамиловый спирт	$(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$	88,15	809	130	2,3	43	1,4	55 ^{x}
50.	Изобутилацетат	$CH_3COOCH_2CH(CH_3)_2$	116,16	871,2	117	12,8	22	1,45	75 ^{x}
51.	Изобутилбензол	$C_6H_5CH_2CH(CH_3)_2$	134	867	172,8	1,3	55	0,8	44
52.	Изобуттиловый спирт (2-метил-1-пропанол)	$(CH_3)_2CHCH_2OH$	74,12	802	107,9	9	28	1,8	60 ^{x}
53.	Изхопентан	$(CH_3)_2CHCH_2CH_3$	72,15	625	27,8	572	-52	1,36	44 ^{x}
54.	Изопрен (2-метил-1,3-бутадиен)	$CH_2CHC(CH_3)CH_2$	68,12	680,6	34,3	480	-48	1,4	42 ^{x}
55.	Изопропенилбензол (α-метилстирол)	$C_6H_5C(CH_3)CH_2$	118,18	914	164	2,8	58	0,9	44
56.	Изопропиламин	$CH_3CH(NH_2)CH_3$	59,11	691	33	478	-49	1,6	42 ^{x}
57.	Изопропилацетат	$CH_3COOCH(CH_3)_2$	102,13	873	89	46	4	2,02	91
58.	О-крезол	$C_6H_4CH_3OH$	106,14	1045,5	191	0,2	81	1,3	58
59.	Мезитилоксид	$CH_3COCHC(CH_3)_2$	98,15	1447,5	128,9	7	31	1,6	71 ^{x}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60.	Метилацетат	CH_3COOCH_3	74,08	924,4	56,9	165	-15	4	132 [x]
61.	2-метил-2-бутанол (трет-амиловый спирт)	$(CH_3)_2O(OH)CH_2CH_3$	88,15	805,9	102,3	11,7	24	2,0	78,7 [x]
62.	Метилгликоль (метилцел-лозольв)	$CH_3OCH_2CH_2OH$	76,10	966	124	6,19	38	2,5	85
63.	Метилметакрилат	$CH_2C(CH_3)CO_2CH_3$	100,12	946	100,3	30	10	2,1	87
64.	Метиловый спирт (мета-нол)	CH_3OH	32,04	792,8	64,5	95	6	6,9	98,7 [x]
65.	2-Метил-4-пентанол	$CH_3COCH_2CH(CH_3)_2$	100,16	801	117	5	14	1,2	50
66.	2-Метилпиридин (α-николин)	$C_5H_4NCH_3$	93,13	940	129	8	27	1,4	58 [x]
67.	2-Метил-1-пропен (изобу-тилен)	$CH_2C(CH_3)_2$	56,11	2,5	-7	-	-	1,8	45 [x]
68.	Метилпропионат	$CH_3CH_2CO_2CH_3$	88,12	915	79,8	67	-2	2,4	85
69.	Метилформиат	HCO_2CH_3	60,05	974	31,5	480	-22	5,5	147 [x]
70.	Метилциклогексан	$C_6H_{11}CH_3$	98,19	773,4	101	36	-4	1,1	45
71.	Муравьиная кислота	HCO_2H	46,03	1220	100,7	32	55	18	370
72.	Нафталин	$C_{10}H_8$	128,17	976	218	0,054	80	0,9	45
73.	Никельтетракарбонил	$N(CO)_4$	170,74	1362	42,5	320	-20	2	140
74.	Нитробензол	$C_6H_5NO_2$	123,12	1204	210,8	0,15	88	1,8	90
75.	Нитрометан	CH_3NO_2	61,04	1138,5	101,15	27	36	7,1	180
76.	Нонан	C_9H_{20}	128,26	717,6	150,8	3	31	0,8	45,8 [x]
77.	Нонилацетат	$CH_3CO_2(CH_2)_8CH_3$	186,3	865,7	228	-	100	0,67	56 [x]
78.	Ониловый спирт (1-нонанол)	$CH_3(CH_2)_8OH$	144,26	826	213,5	0,05	96	0,73	47 [x]
79.	Октан	C_8H_{16}	114,23	702,5	125,6	10	12	0,9	45,8 [x]
80.	Октилацетат	$CH_3CO_2(CH_2)CH$	172,3	868	210	-	82	0,75	57,5 [x]
81.	Октиловый спирт	$CH_3(CH_2)_7OH$	130,22	822	195	0,17	86	0,85	49,4 [x]
82.	Пентан	C_5H_{12}	72,15	626	36,15	430	-45	1,4	41
83.	2-пентанол (вторамило-вый спирт)	$CH_3(CH_2)_2CH(OH)CH_3$	88,146	805,3	119,9	4	36	1,5	59 [x]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
84.	2-пентанон	$CH_3(CH_2)_2COCH_3$	86,13	809	102	11	6	1,5	53
85.	2-Пропенол (алливовый спирт)	CH_2CHCH_2OH	58,08	854	96,9	18	21	2,5	60
86.	Пропиловый спирт	$CH_3(CH_2)_2OH$	60,09	801	97,8	14	23	2,3	61 [x]
87.	Пропиламин	$CH_3(CH_2)_2NH_2$	59,11	717	47,8	245	-20	2	49
88.	Пропилацетат	$CH_3CO_2(CH_2)_2CH_3$	102,13	887	101,6	25	15	1,8	82 [x]
89.	Пропилпропионат	$CH_3CH_2CO_2(CH_2)_2CH_3$	116,16	882	122	11	28	1,4	72 [x]
90.	Стирол	$C_6H_5CHCH_2$	104,15	907,13	145,8	5,5	32	1,1	45
91.	Тетралин	$C_{10}H_{12}$	132,20	970	206,5	0,3	77	0,8	45
92.	Тиофен	C_4H_4S	84,14	1064,4	84	60	-8	1,5	52
93.	Толуол	$C_6H_5CH_3$	92,14	866,9	110,8	22	6	1,2	46
94.	Хлорбензол	C_6H_5Cl	112,56	1106,6	132	8,8	28	1,4	70 [x]
95.	2-Хлоэтанол	CH_2OHCH_2Cl	80,51	4202	128	5,5	55	5	160
96.	Циклогексанол	$C_6H_{10}O$	98,15	946,6	156	3,5	43	1,3	53
97.	Этилакрилат	$CH_2CHCO_2CH_2CH_3$	100,12	923	99,8	29	9	1,7	69
98.	Этилацетат	$CH_3CO_2CH_2CH_3$	88,10	901	77	70	-2	2,35	92 [x]
99.	Этилбензол	$C_6H_5CH_2CH_3$	106,17	867	136	7	24	1,03	43
100.	Этиловый спирт	CH_3CH_2OH	46,07	785	78,5	42	12	3,6	74 [x]

Примечания к приложению 5:

1. Значения $C_{нкпв}$ (г/м^3) помеченные (*), пересчитаны из $C_{нкпв}$(% об.).

2. Данные таблицы получены по материалам МГСУ.

3. Величины, приведенные в колонке 7, привести к кПа.

Приложение 6

Таблица П.6

Экспериментальные скорости испарения некоторых ЛВЖ, кг/час м^2

№ п./п.	Наименование ЛВЖ	Температура, ^oC	Скорость испарения при скорости движения воздуха, м/с			
			0	0,2	0,5	1,0
1.	Ацетон	35 25 15	1,188 0,709 0,588	2,952 2,556 2,106	3,816 3,420 2,736	6,372 5,436 4,158
2.	Бензин Б-70	35 25	-	1,85 1,5	2,4 2,0	3,62 3,42
3.	Бензол	35 25 15	0,612 0,421 0,270	1,494 1,159 0,907	2,088 1,771 1,325	2,988 2,610 2,088
4.	Гексан	35 25 15	1,98 1,318 1,058	2,646 2,203 1,98	3,96 3,528 2,988	6,084 5,112 4,68
5.	Ксилол	25		0,189	0,342	0,500
6.	Сольвент нефтяной	35 25		0,48 0,325	0,65 0,42	0,86 0,62
7.	Спирто-толуоловая смесь (1:1)	35 25		0,75 0,67	1,7 1,6	2,4 2,0
8.	Толуол	35 25	0,277 0,155	0,454 0,371	0,742 0,648	1,296 1,152
9.	Уайт спирит	35 25		0,268 0,2	0,4 0,255	0,54 -
10.	Циклогексан	30 20 15	0,583 0,403 0,292	1,404 1,286 1,058	2,124 2,088 1,602	3,096 2,664 2,448

Примечания к приложению 6:

1. Цифры, приведенные в таблице, получены по экспериментальным данным МГСУ.
2. Данные таблицы согласуются с расчетными в пределах ± 10-12%.

Приложение 7

Таблица П.7

Максимально безопасное избыточное давление в помещении при взрыве для различных строительных конструкций

№ п/п	Наименование строительных конструкций	Максимально безопасное давление в помещении, кПа
	Остекление:	
1	С шипами более 1х1 м	2-3,5
2	То же менее, 1х1 м	3,5-7
	Перегородки, кровли:	
3	Деревянных каркасных зданий	12
4	Кирпичных зданий	15
5	Железобетонных каркасных зданий	17
	Перекрытия:	
6	Деревянных каркасных зданий	17
7	Промышленных кирпичных зданий	28
8	Промышленных знаний со стальным и железобетонным каркасом	30
9	Зданий с массивными стенами	42
	Стены:	
10	Шлакоблочных зданий	22
11	Кирпичных зданий со стенами в 1,5 кирпича	40
12	Деревянных каркасных зданий	28
13	Зданий с массивными стенами	100
	Фундаменты:	
14	С замоноличенными стойками (колоннами каркасов)	215
15	Ленточные, жилых домов	400

Примечания к прил.7:

1. При практических расчетах можно пользоваться паспортом предприятия.
2. Данные получены по материалам МГСУ.

Приложение 8

Таблица П.8

Степень разрушения коммунально-энергетических и технологических сетей [5]

Здания и сооружения	Избыточное давление ударной волны, кПа					
	1000…200	200…100	100…50	50…30	30…20	20…10
1	2	3	4	5	6	7
Жилые, производственные и общественные антисейсмические конструкции	а	б	в	г	д	-
Промышленные с металлическим или железобетонным каркасом			а	б	в	в, г
Малоэтажные каменные			а	б	в	г, д
Многоэтажные жилые дома с несущими каменными стенами				а	б, в	г, д
Деревянные					а	а, б
Сооружения и сети коммунально-энергетического хозяйства и связи:						
Электростанции				а, б	в	г
Здания фидерных и трансформаторных подстанций распределительных устройств			а, б	в	г	г, д
Подземные резервуары		а, б	в	г	д	
Частично заглубленные резервуары			а, б	в	г	д
Смотровые колодцы и камеры переключения на сетях		в, г	г, д			
Стальные водоводы и трубопроводы разного назначения диаметром до 500 мм		в, д				
Разводящие трубопроводы (чугунные, асбоцементные и др.)		в, г	д			
Наземные трубопроводы		а, б	б, в	в, г	г	д

1	2	3	4	5	6	7
Обсадные трубы скважин	б, г	г	д			
Насосное оборудование скважин		а	в, б	г	д	
Водонапорные башни			а, б	б, в	в	г
Воздушные линии электропередач		а	б	в	г	г, д
Воздушные линии связи			а, б	б	в	г, д
Кабельные подземные линии	б, г	д				
Антенные устройства			а	б	в	г
Металлические мосты пролетом до: 45 м 100…150 м	а, б	б, в а, в	г в	д г, д		
Железобетонные мосты пролетом до: 10 м 20…25 м		а, в а, б	в, г в	д г, д		
Деревянные мосты			а	б, в	г	г, д
Железнодорожные пути	а, в	г	д			
Автомобильные дороги с твердым покрытием	в, г					
Метрополитен мелкого заложения	а, б	в	д			
Машины и оборудование: металлообрабатывающие станки		а	в	г	д	
Грузовые автомобили			а	б	в, г	г, д

Условные обозначения: а – полные разрушения; б – сильные разрушения; в – средние разрушения; г – слабые разрушения; д – повреждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г., № 116-ФЗ.
2. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. - М.: Машиностроение, 1984.
5. Безопасность жизнедеятельности./Под ред. С.В.Белова. 2-е изд. - М.: Высшая школа, 1999.
6. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978.
7. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда). /П.П.Кукин, и др. - М.: Высш. шк., 1999.
8. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование. Справочник. /Под ред. С.В.Белова. - М.: Машиностроение, 1989.
9. Синицын А.П. Расчет конструкций на основе теории риска. М.: Стройиздат, 1985.
10. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. - М.: Машиностроение, 1990.
11. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. В 2-х т. – М.: Высшая школа, 1996.
12. Экология. Учебное пособие. – М.: Знание, 1997.
13. Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В. Экология: Природа – Человек – Техника. – М.: ЮНИТИ, 2001.
14. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность./Под ред. А.Н.Баратова.- М.: Химия, 1987.
15. Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. - М.: Изд-во АСВ, 1997.
16. Инженерная психология. /Под ред. Б.Ф.Ломова. - М.: Высш. шк., 1986.
17. Временный порядок разработки декларации безопасности промышленного объекта РФ. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 1995.
18. Онищенко В.Я. Классификация и сравнительная оценка факторов риска.//Безопасность труда в промышленности. 1995, №7, с.23-27.
19. Мартынюк В.Ф. и др. Анализ риска и его нормативное обеспечение. .//Безопасность труда в промышленности. 1995, №11, с.55-62.
20. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. - М.: Главгосэнергонадзор России, 1998.
21. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
22. НПБ 107-97. Определение категорий наружных установок по пожарной опасности.

23. ПБ 09-170-97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. - М.: ПИО ОБТ, 1999.
24. Бесчастнов М.В., Шаталов А.А., Ройзин И.А. Оценка уровня взрывоопасности пылеобразующих технологических объектов.//Безопасность труда в промышленности. 1990, №8, с.39-43.
25. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
26. СНиП 21-01-97.Строительные нормы и правила. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
27. Роздин И.А., Хабарова Е.И. Оценка риска аварий на предприятиях по хранению светлых нефтепродуктов методом построения деревьев опасности. //Безопасность труда в промышленности. 2000, №10, с.20-23.
28. Иванов Б.С., Богомолов Д.Ю. Оценка риска на промышленном предприятии. // Безопасность труда в промышленности. 1999, №9, с.40-42.
29. СП 12-132-99. Безопасность труда в строительстве. Макеты стандартов предприятий по безопасности труда для организаций строительства, промышленности строительных материалов и жилищно-коммунального хозяйства.
30. Иванов Е.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. О номенклатуре показателей риска для решения задач нормирования и оценки безопасности промышленной трубопроводной арматуры. //Безопасность труда в промышленности. 2000, №10, с.38-40.
31. Гражданкин А.И., Белов П.Г. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов. //Безопасность труда в промышленности. 2000, №11, с.6-10.
32. Акимов В.А., Радаев Н.Н. Методический аппарат исследования природного и техногенного рисков. //Безопасность жизнедеятельности, 2001, №2, с. 34-38.
33. Гражданкин А.И., Федоров А.А. К вопросу об оценке риска при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов. // Безопасность жизнедеятельности, 2001, №4, с.2-6.
34. Авдотьин В.П. Экономическая безопасность в техногенной и природной сфере в условиях чрезвычайных ситуаций. //Экспресс-информация «Промышленные и сельскохозяйственные комплексы, здания и сооружения», 2001, выпуск 1, с.1-15.
35. Иванов Е.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. Проблема нормирования и оценки безопасности промышленной трцубопроводной араматуры. Методы оценки риска. //Безопасность труда в промышленности. 2001, № 9, с.34-39.
36. Собурь С.В. Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: Справочник. – М.: Спецтехника, 2001.