

Химический факультет

В.В. Меньшиков, А.А. Швыряев

**ОПАСНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

**Учебное пособие к лекционному курсу
«Техногенные системы и экологический риск»**

Меньшиков В.В., Швыряев А.А.

Опасные химические объекты и техногенный риск: Учебное пособие. - М.: Изд-во Химич. фак. Моск. ун-та, 2003. – 254 с.

Рецензенты:

Кафедра химической и техногенной экологии Международного Независимого Эколого-Политологического Университета (зав. кафедрой профессор, д.х.н. Богдановский Г.А.);

профессор, д.х.н., акад. РАЕН Петросян В.С..

Учебное пособие подготовлено преподавателями химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по специальности 011000 – «Химия» и направлению 51100 - Экология и природопользование для государственных университетов.

Рассматривается роль техногенных систем (на примере опасных химических объектов) в проблеме безопасного развития общества. Системно рассмотрены характеристики опасностей, проблемы риска технологий, приводятся алгоритмы количественной оценки техногенного и экологического риска на основе современной методологии оценки различных опасностей, анализа и управления риском.

Содержание пособия ориентировано на получение и последующее применение студентами ключевых представлений и методологических подходов, направленных на решение проблем обеспечения безопасного и устойчивого взаимодействия человека с природной средой.

Для студентов старших курсов и магистрантов университетов, слушающих курсы по экологии и обеспечению безопасности технических систем, а также для специалистов, занимающихся вопросами обеспечения безопасности производств.

The manual is written by the teachers of chemical department of Lomonosov Moscow State University according to the State educational standard of higher vocational education for specialization 510500 - "Chemistry" and direction 51100 - "Ecology and using of natural resources" for state universities.

The role of technogenic systems (by example of chemically dangerous objects) in a framework of problem of safe development of society has been considered. The characteristics of dangers and problems of technological risk have been analyzed systematically. Algorithms for quantitative estimation of technogenic and ecological risk have been shown on the basis of modern methodology of various dangers estimation, analysis and management of risk.

The contents of the manual is focused on learning and subsequent application by students of key conceptions and methodological approaches in order to allow them to solve the problems of maintenance of safe and steady interaction between a man and environment.

The manual has been meant for seniors and undergraduate students of universities learning sciences on environment safety and safety of technical systems, as well as for the experts engaged in issues of productions safety.

© В.В. Меньшиков, А.А. Швыряев, 2003

© Химич. факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	9
1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА АВАРИЙНОГО РИСКА	12
1.1 <i>Общие аспекты</i>	12
1.2 <i>Химическая опасность, химически опасные объекты и обеспечение безопасности</i>	23
1.3 <i>Техногенные аварии и катастрофы на объектах с химическими технологиями, их классификация и возможные последствия</i>	31
1.4 <i>Этапы оценки последствий техногенных аварий</i>	40
Литература к Введению и разделу 1	52
Вопросы и задачи к разделу 1	57
2. ПРИРОДА И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ	58
2.1 <i>Техносфера. Техническая система. Промышленная безопасность</i>	58
2.2 <i>Принципы, факторы и причины усиления техногенной опасности</i>	60
2.3 <i>Определение опасности</i>	63
2.4 <i>Аксиомы о потенциальной опасности технических систем</i> ..	67
2.5 <i>Классификация и систематизация опасностей</i>	68
2.6 <i>Идентификация опасностей</i>	70
Литература к разделу 2	83
Вопросы и задачи к разделу 2	84
3. БЕЗОПАСНОСТЬ И РИСК	85
3.1 <i>Основные положения теории риска</i>	85
3.2 <i>Оценка риска технологий и управление риском</i>	94
3.3 <i>Обзор существующих методов оценки риска и безопасности</i>	96
3.4 <i>Показатели безопасности</i>	99
Литература к разделу 3	108
Вопросы и задания к разделу 3	109

4. ИЗМЕРЕНИЕ, ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОЦЕНОК РИСКА	110
4.1. <i>Оценки риска.....</i>	110
4.2. <i>Представление риска.....</i>	116
4.3. <i>Выбор оценки риска и формата ее представления.....</i>	119
4.4. <i>Вычисление риска</i>	120
4.5. <i>Неопределенность, чувствительность и важность</i>	137
Литература к разделу 4	144
Вопросы и задачи к разделу 4	145
5. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕЙ РИСКОВ И РАСЧЕТА ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ ОПАСНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ГРУППЫ РИСКА. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ АЛГОРИТМОВ.....	146
5.1. <i>Основные положения методов построения полей потенциального риска.....</i>	146
5.2. <i>Методические особенности расчета распространения (рассеивания) выбросов в атмосфере.....</i>	148
5.3. <i>Пример прогноза масштабов зон токсикологической опасности.</i>	162
5.4. <i>Обобщенный алгоритм расчета вероятности гибели людей (риска) при возникновении выбросов токсикантов.....</i>	168
5.5. <i>Пути снижения аварийного риска.....</i>	215
Литература к разделу 5.....	217
Вопросы и задачи к разделу 5.....	222
6. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ.....	223
6.1. <i>Обеспечение промышленной и экологической безопасности.....</i>	223
6.2. <i>Стратегические риски – цель новой парадигмы управления.....</i>	232
Литература к разделу 6.....	243
Вопросы и задачи к разделу 6.....	245
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	246

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время безопасность в природно-техногенной сфере является важнейшей проблемой во всем мире. События последнего времени отчетливо показали человечеству, что научно-технический прогресс несет не только благо. Повышение эффективности и интенсивности хозяйственной деятельности человека неразрывно связано с усилением его воздействия на окружающую среду, повышением новых опасностей и ростом природно-техногенных негативных событий. В обществе возникло нарастающее беспокойство по поводу состояния окружающей среды, неоправданно интенсивного использования природных ресурсов, уменьшения биоразнообразия, растущей аварийности объектов техносферы.

Сегодня становится ясным, что техногенную опасность со стороны нефтеперерабатывающих и нефтехимических объектов следует учитывать при разработке технологий, которые должны отвечать стратегическим требованиям энергетической, экономической и экологической безопасности. Это вытекает из того, что переработка имеющихся углеводородных ресурсов для нужд энергетики, химической и нефтехимической промышленности России в ближайшие десятилетия останется опасной и перспективной.

Продукты переработки углеводородных систем в процессе их использования оказывают серьезное влияние на качество жизни человека. Так, например, выбросы в атмосферу от автотранспорта сегодня составляют до 80% от общего загрязнения и в значительной степени зависят от качества применяемых топлив.

После ряда аварий в ядерной энергетике и других потенциально опасных отраслях промышленности было осознано, что бытовавшая ранее «концепция техники безопасности», опирающаяся на принцип «реагировать и выправлять», не отвечает требованиям времени. Так как само общество заботится о снижении ущерба от опасных и вредных производственных факторов путем внедрения соответствующих мер и средств защиты. Такой подход ориентирован на источник опасности, основным методом обеспечения и совершенствования безопасности служит метод проб и ошибок.

Пассивность и сосредоточение внимания лишь на эмпирических данных поставили соответствующих специалистов в положение пожарной команды, лихорадочно реагирующей на кризисные ситуации.

Вот почему выходом из создавшегося положения стала выдвинутая новая «концепция приемлемого риска», в основе которой лежит принцип «предвидеть и предупреждать». Она основывается на знании природы объективно существующих опасностей, закономерностях появления и снижения обусловленного ими ущерба. Система безопасности должна быть

ориентирована на объекты, подвергающиеся воздействию, т.е. на человека и окружающую среду, а не на источник.

В подобной постановке проблема требует системного подхода, учета не только инженерных и экономических, но и экологических и социальных факторов.

Для объективного решения проблемы уменьшения тяжести последствий аварий (снижения вероятности реализации поражающего потенциала современных промышленных объектов и рациональной подготовки к действиям в ЧС) необходимо заранее оценивать опасность количественно. При этом, очевидно, методы количественной оценки потенциальной опасности промышленных объектов должны быть, по возможности, чувствительны к организационным и инженерно-техническим мероприятиям по снижению опасности.

Академик В.А. Легасов подчеркивал, что один из многообещающих путей снижения технологического риска – создание качественно новых технологических устройств и технологий с внутренне присущей им безопасностью. При этом подходе в основу проекта производства ложатся требования по обеспечению безопасности, в том числе и на случай производственных аварий.

В то же время любая технология несет определенный риск для окружающей среды и общества, который нельзя игнорировать. Особенно важен тщательный анализ рисков для новых технологий, возникающих не в результате «эволюционного» развития, а в результате качественного скачка в науке и возникновением разрыва между новыми знаниями и предыдущим опытом.

Наука о риске сформировалась в последней четверти закончившегося века, она безусловно будет одной из ведущих в новом столетии. Важнейшая особенность науки о риске – ее междисциплинарный характер с теснейшим взаимодействием естественных и гуманитарных наук.

Главная цель анализа риска состоит в снижении его до приемлемого уровня. Важно принимать во внимание следующие тезисы, учитывающие жесткость регулирования:

- 1 Любой риск, который можно устранить, не создавая при этом дополнительных или новых рисков, является неприемлемым и должен быть предотвращен или сведен к минимуму риска возникновения чрезвычайной ситуации, а также ее последствий.
- 2 Если риск устранить нельзя – то его надо оценить и разработать эффективные способы его снижения и контроля. Отсюда следует принципиальный вывод – важнейшим элементом анализа риска

оказывается идентификация опасности, где создается концептуальная модель (без четко сформулированной опасности или в ее отсутствие риска нет).

Применительно к чрезвычайным ситуациям в качестве идеализированной цели управления выступает обеспечение управления развития общества при условии его полной безопасности для здоровья и жизни людей. Как и всякий идеал, данная цель принципиально недостижима: определенная степень риска всегда присутствует, однако ее практическая ценность состоит в том, что она (цель) закономерно вытекает из объективной потребности общества к сохранению целостности и динамической устойчивости как биосоциальной системы. В то же время мера продвижения этой системы к идеалу в реальном масштабе времени, равно как и средства их достижения, выбираются обществом, исходя из конкретных экологических, культурно-исторических и социально-экономических условий. Это определяет тип управления.

В настоящее время в России осуществляется переход от регистрации совершившегося факта к осознанию необходимости использования методов анализа опасности для предварительного исследования технических систем и объектов повышенного риска с целью предотвращения аварий. Однако исследования риска как научное направление находится пока лишь в стадии становления, и существующий в стране научный базис анализа риска не адекватен потребностям развития общества.

Анализ должен охватывать все этапы – от создания до «захоронения» исчерпавшей себя технологии, вплоть до устранения вредных последствий ее использования.

Методология анализа риска нацелена в конечном итоге на лиц, принимающих решения, и служит тем инструментом, который позволяет проводить количественные оценки, обеспечивающие научную поддержку в процессе принятия решения.

В настоящем учебном пособии систематизированы эти методы, а их научное изложение было адаптировано к учебному процессу. Все разделы снабжены контрольными вопросами и в некоторых случаях задачами, самостоятельный контроль позволит студентам более глубоко осмыслить изучаемые проблемы и овладеть дополнительными методами воздействия опасных химических производств. Список литературы, данный к каждому разделу, включает помимо источников, используемых в процессе подготовки пособия, также рекомендуемые для более глубокого и широкого освоения рассматриваемых в данных пособии проблем.

Академик В.А. Легасов был одним из первых в стране, кто еще в 70-е годы поставил вопрос о необходимости подхода к системе знаний о закономерностях в состоянии защищенности человека, населения и

окружающей среды от опасностей, обусловленных хозяйственной деятельностью. Все то, что изложено в данной работе – наша попытка осмыслить его пожелания, которые он высказывал в беседах с нами. Эти обсуждения главным образом и позволили нам собрать отдельные методы, подходы, идеи в единое целое.

Предлагаемое учебное пособие написано по материалам курса лекций, предлагающемся студентам старших курсов Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и экологического факультета Международного Независимого Эколого-Политологического Университета.

Учебное пособие рекомендуется студентам, аспирантам химических и экологических факультетов университетов и может быть полезно специалистам, занимающимся проблемами экологической безопасности.

Представленный в пособии материал во многом базируется на исследованиях, выполненных в рамках научных программ, в связи с этим авторы выражают благодарность всем коллегам, с которыми они работали по этим программам и в первую очередь – зарубежным: Э. Ф. Блоккеру (TNO, Голландия), Р. Селингу (COWI, Дания), В. П. Шестакову (ISTC, Казахстан) и российским ученым: В.А. Акимову, А.А. Быкову, А.Н. Елохину, Б.Н. Порфирьеву, Г.Е. Одишария, В.С. Сафонову и др.

Авторы пособия хотели бы также выразить свою признательность профессорам И.И. Кузьмину, А.Н. Проценко, многократные и длительные научные дискуссии с которыми позволили сформировать содержание работ нашей лаборатории в области промышленной безопасности.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории безопасности химических производств за плодотворное сотрудничество. Особенно м.н.с. Захарову Т.В. и м.н.с. Малыгина В.В., подготовивших верстку настоящей работы, а также руководство кафедры всемерно поддерживающее работы в области оценки и управления риском.

Учебное пособие, безусловно, не свободно от недостатков. Авторы будут благодарны всем, кто сочтет необходимым прислать свои отзывы, критические замечания или предложения к сотрудничеству в этом направлении.

В.В. Меньшиков
к.х.н., чл.-корр. РАЕН,
профессор МНЭПУ

ВВЕДЕНИЕ

Развитие систем топливной энергетики и объектов химической технологии связано с увеличением масштабов добычи и переработки нефти, газа и конденсата, со значительным возрастанием единичных мощностей установок и аппаратов, а также с усложнением самих технологических процессов и режимов управления производством. Как следствие, наряду с развитием научно-технического прогресса в промышленности имеет место устойчивая тенденция роста числа аварий со все более тяжелыми экологическими, экономическими и социальными последствиями. Безопасность, таким образом, выдвигается в число основных характеристик промышленных объектов. Это особо подчеркивается в принятых Правительством Федеральных целевых научно-технических программах "Экологическая безопасность России", "Химическая безопасность России", в которых поставлена задача безотлагательного решения широкого круга вопросов, связанных с технологической и экологической безопасностью энергетики и химии, предусмотрена разработка и внедрение "Методических руководств по оценке экологического риска от опасных производств", "Методологии минимизации риска" и ряда других нормативов.

Проблема изучения антропогенного воздействия на окружающую среду является одной из важнейших комплексных задач современности. Она глобальна по своему характеру и требует междисциплинарных исследований. Практически все важнейшие решения в области научно-технического прогресса связаны с оценкой воздействия новых технологий на безопасность экосистем и здоровье человека.

Одним из наиболее сложных и запущенных участков работы оказалось определение мер по экологической безопасности, особенно с позиций оценки риска высоких уровней загрязнения, аварий, влекущих много миллиардные потери в народном хозяйстве, увеличивающих заболеваемость и смертность населения. Отсутствие надежного определения критериев экологической безопасности, оценки риска, прежде всего для здоровья людей, сводит на нет многие достижения научно-технического прогресса. В стране сгущается острая нехватка специалистов, способных оценить уровни безопасности при планировании и размещении крупных народнохозяйственных объектов.

Вместе с тем, можно с полной уверенностью утверждать, что оценка антропогенного воздействия нигде в достаточной степени не

интегрирована в систему принятия решений и, таким образом, результаты проведения сложнейших натуральных и лабораторных экологических исследований не достигают конечного результата.

Химические производства являются одними из наиболее опасных техногенных источников воздействия на человека и объекты природной среды. Опасность химических производств усугубляется при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с их функционированием. Несмотря на некоторый спад производства в 90-е годы, аварийность на предприятиях химической, нефтехимической и смежных отраслях промышленности остается очень высокой.

К химически опасным объектам относятся не только предприятия химической, нефтехимической, металлургической и других отраслей промышленности, где токсические химические вещества содержатся в сырье, вспомогательных материалах, технологических смесях, продуктах и отходах. Значительные массы сильнодействующих токсических веществ сосредоточены на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве и т.д. В России и государствах СНГ в настоящее время продолжают эксплуатироваться более 1000 крупных химических объектов с большим количеством ядовитых и взрывоопасных веществ [1].

В 1999 г. предприятия химической промышленности занимали третье место в списке наиболее аварийно опасных производственных объектов. Таким образом, химическая промышленность становится одной из наиболее вероятных источников промышленной техногенной опасности. Поэтому задача предотвращения аварий на опасных химических и нефтехимических производствах, анализ и оценка риска и управление безопасностью химических производств является важнейшей.

Эффективное решение поставленной задачи может быть получено на основе системного подхода к оценке риска и управлению безопасностью химических производств. Базируясь на подходе к решению проблемы обеспечения безопасности человека и окружающей его среды, разработанном академиком В.А. Легасовым [2,3], авторы настоящего учебного пособия развивают методы и алгоритмы системного анализа химических производств как опасных техногенных объектов и источников риска для человека и окружающей среды.

В данном методическом пособии были использованы все ранее известные разработки по данному вопросу, выполненные в России,

международный опыт [5,6], особенно последнее издание 3-х томника F. Lees [4] с учетом уже созданной нормативно-методической базы с области промышленной безопасности в России, а также результаты исследовательских работ лаборатории безопасности химических производств Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [7-9].

Предлагаемое издание представляет собой учебное пособие для курса лекций «Техногенные системы и экологический риск», подготовленного авторами для чтения студентам Химического факультета Московского университета в рамках специальности «011000 – Химия» и студентам Международного Независимого Эколого-Политологического Университета в рамках направления «51100 – Экология и Природопользование».

Основная цель настоящего учебного пособия – содействовать подготовке специалистов в области оценки и снижения техногенного и экологического риска. По мнению авторов, такой специалист должен:

- 1 владеть методами качественного и количественного оценивания техногенного и экологического риска, приемами анализа всей достоверной информации и сопоставления различных точек зрения в процессе принятия решения;
- 2 знать закономерности восприятия экологического риска отдельными индивидуумами и социальными группами, устанавливать причины неадекватного восприятия риска;
- 3 уметь рекомендовать меры по снижению риска, выявлять приоритеты в реализации мероприятий, направленных на снижение риска;
- 4 знать о мероприятиях и действиях, нацеленных на прогноз аварийного риска и действий в условиях чрезвычайных ситуаций.

Перечисленные задачи определили структуру и содержание настоящего учебного пособия.

Авторы будут благодарны за все замечания и предложения, касающиеся пособия и направленные на совершенствование обучения основам экологической и промышленной безопасности.

1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА АВАРИЙНОГО РИСКА

1.1 Общие аспекты

В Советском Союзе в течение длительного периода осуществлялась научно-техническая политика, ориентированная на постоянный рост объемов промышленного производства. При этом ущерб, наносимый техническим прогрессом окружающей природной среде, по существу во внимание не принимался [1].

Такая политика в большой степени определялась развитием человеческой цивилизации в целом, ибо и в развитых странах ученые серьезно озаботились ростом техногенной опасности лишь в 70-е годы истекшего столетия после аварии в г. Севезо (Италия, 1976).

С 1992 г. в России происходит трансформация хозяйственного облика страны, которая сократила темпы промышленного роста, однако лишь в небольшой степени снизила давление техносферы на экосистемы.

Переход к рыночным принципам хозяйствования, появление новых форм и видов собственности, физическое и моральное старение оборудования, резкое ухудшение материально-финансового положения и промышленных предприятий привели к росту числа крупных аварий с тяжелыми социальными и экономическими последствиями. Эти обстоятельства поставили проблему промышленной безопасности в число приоритетных задач государственного управления.

Осознание того, что надежность той или иной технической системы не гарантирует ее безопасности наряду с ростом аварийности объектов техносферы породило принципиально новый подход к оценке уровня опасности технических систем [10-11]. До 60-х г.г. прошлого столетия анализ безопасности основывался преимущественно на эмпирических методах. Появление современной теории безопасности связано с обстоятельствами, описанными ниже.

Начало положили исследования разнообразных аварий, которые возникали и могут иметь место в атомной промышленности [12]. В этих работах были заложены методологические основы анализа риска. Такие логико-вероятностные подходы как метод деревьев отказов и деревьев событий, ранее использовавшиеся в теории надежности; приемы оценки последствий аварий и процедуры вычисления риска, используемые в

отчете [12], были взяты в дальнейшем на вооружение в химических отраслях промышленности. В дальнейшем анализ причин и последствий аварии на ядерном реакторе атомной электростанции «Три Майлс Айленд» в штате Пенсильвания США в 1979 году привел к серьезной переоценке методологии оценки опасности технических систем. Это обстоятельство привело к тому, что при национальном научном фонде США была учреждена специальная комиссия по проблемам риска. Новое научное направление получило официальное признание [13].

Коренной поворот в отношении научной общественности нашей страны к проблеме промышленной безопасности произошел в результате Чернобыльской катастрофы, произошедшей 26 апреля 1986 года. Большая роль по созданию развитой системы промышленной безопасности в СССР принадлежит академику В.А. Легасову. В 1987 году им была организована рабочая группа при президенте академии наук СССР по оценке риска и проблемам безопасности с целью выработки концепции безопасности. Была подготовлена и принята Правительством Программа химической безопасности СССР (Постановление СМ СССР №1022).

Таким образом как теория надежности, так и теория аварийного риска, обусловленного объектами техносферы, возникли вследствие обеспокоенности населения и властных структур ростом крупных техногенных катастроф.

С целью преодоления негативных тенденций с аварийностью в промышленности Государственной Думой Российской Федерации 21 июля 1997 г. принят и вступил в силу федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ. Закон определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасности эксплуатации опасных производственных объектов, а также меру административной и уголовной ответственности предприятий и направлен на предупреждение аварий на этих объектах и обеспечение готовности к их локализации и ликвидации.

Статья 14 этого закона однозначно увязывает возможность получения предприятиями лицензий на соответствующий вид деятельности с необходимостью представить в органы государственного надзора и местного самоуправления «Декларацию безопасности промышленного объекта», а также получить положительное экспертное

заключение по ней от уполномоченной Госгортехнадзором РФ для этой цели специализированной организации.

Статья 15 этого закона требует от потенциально опасного предприятия заключить с соответствующими компаниями договор страхования социальной и материальной ответственности перед третьими (физическими и юридическими) лицами, которым может быть нанесен ущерб в результате деятельности предприятия.

Следует особо подчеркнуть, что до принятия этого закона ответственность предприятия – собственника опасного промышленного объекта перед третьими лицами брало на себя государство.

Центральной задачей декларирования промышленной безопасности является основанное на фактических сведениях, официально заверенных руководителем потенциально опасного производственного объекта, информационное отражение реального состояния промышленной безопасности на объекте, включающее всесторонний объективный анализ характерных опасностей и оценку риска и описание принятых мер технического и организационно-методического характера по предотвращению и локализации аварии.

Наиболее значимым и ответственным разделом декларации является анализ риска, т.е. обоснование частоты возникновения и специфики развития различного рода аварий, а также определение количественных показателей связанных с этим социального, материального и экологического ущербов. Сочетание этих двух категорий: последствий и вероятности (обычно в виде произведения) и образует понятие *риска* – нового количественного критерия оценки безопасности, позволяющего получить универсальную шкалу для сравнения опасностей различного происхождения.

Обычно риск аварий исчисляется в единицах ущерба, отнесенных ко времени. Определяющее соотношение для прогнозирования оценок аварийного риска может быть представлено в виде:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Оценка} \\ \text{риска} \\ \text{аварий} \end{array} \right] = \sum_z \left[\begin{array}{c} \text{Частота } z\text{-го} \\ \text{аварийного} \\ \text{процесса} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{Ущерб (потери)} \\ \text{при } z\text{-ом аварийном} \\ \text{процессе} \end{array} \right]$$

Суммирование производится по всей совокупности аварийных процессов, которые могут иметь место на объекте.

Из приведенного соотношения следует, что прогноз уровня аварийной опасности связан с частотным анализом возможных аварийных процессов и с прогнозом ущерба при потенциальных авариях.

В отличие от других подходов оценки безопасности производственной деятельности методология риска позволяет в рамках системного анализа:

- 1 исследовать причинно-следственный механизм (логику) возникновения различных аварий и спрогнозировать их частоту;
- 2 учесть влияние технологических, метеорологических, региональных и целого ряда других особенностей на характер и масштабы последствий от аварий;
- 3 оптимизировать управленческие решения по повышению безопасности объекта в условиях ограниченных средств.

Проще говоря, она дает возможность реализовать принцип «предвидеть и предупреждать» вместо традиционного «реагировать и исправлять» [10,14].

Следует подчеркнуть, что методология «риск-анализа» получила за рубежом самое широкое развитие и уже около 30 лет рассматривается как один из наиболее эффективных инструментов административно-правового управления безопасностью в промышленности с детально разработанной методической базой, являющей собой, однако, ревниво оберегаемое «ноу-хау». По этой причине в России до недавнего времени были известны лишь отдельные положения этой методологии при отсутствии единого методического комплекса, включающего взаимосвязанные процедуры расчета всех составляющих риска для типовых объектов конкретных отраслей промышленности.

Общепринятыми характеристиками уровня опасности в мире являются оценки риска. Они позволяют провести количественный анализ уровня опасности относительно конкретных реципиентов риска [11,15]. Анализ оценок риска позволяет дифференцировать опасные техногенные объекты в первую очередь по угрозе, которую они представляют для человека и для окружающей природной среды, и даёт возможность провести дифференциацию территорий по уровню потенциальной

опасности. В терминах оценок риска выражаются критерии безопасности.

Второй аспект понятия *«опасность, порождаемая объектом»* связан с восприятием опасности реципиентом риска. Человек как реципиент риска воспринимает уровень опасности, «навязанный» ему обстоятельствами, иначе, чем уровень опасности, принимаемый им добровольно. Так, человек согласен мириться с высоким уровнем опасности, связанным, например, с поездкой в автомобиле по оживленной магистрали, но не согласен мириться со значительно меньшим уровнем опасности, связанным с близлежащим промышленным объектом. Далее, можно ожидать, что рабочие и служащие, работающие на промышленном объекте и получающие зарплату, будут согласны мириться с его достаточно высокой степенью опасности в отличие от населения, проживающего в районе этого промышленного объекта. Следовательно, полагаться на оценки, основанные на восприятии опасности тем или иным человеком нельзя. Но необходимо учитывать, что уровень опасности от иного объекта всегда будет восприниматься населением «острее», чем уровень опасности, добровольно принимаемый человеком (даже, если первый менее значителен). В данной работе мы ограничимся рассмотрением только первого аспекта понятия «опасность, порождаемая объектом».

Разнообразие проявлений опасности соответствует разнообразию оценок риска, что нашло отражение в классификации оценок. В зависимости от режима функционирования исследуемого промышленного объекта выделяют оценки риска, связанные со штатным режимом функционирования объекта, и оценки риска, характеризующие последствия аварии на объекте. Последние называются оценками аварийного риска. Эти два вида риска иногда называют *реальным и потенциальным* риском соответственно [7].

Выделение оценок аварийного риска в отдельную категорию, в общем случае, носит условный характер и отражает количественную сторону. Обычно уровень аварийной опасности существенно выше уровня опасности от объекта, функционирующего в штатном режиме, когда ожидаемые воздействия на состояние здоровья человека, на состояние окружающей природной среды незначительны. В этой связи, оценки аварийного риска, как правило, характеризуют верхнюю границу уровня опасности, порождаемой промышленным объектом.

Оценки риска могут быть классифицированы по признаку: кто или что воспринимает опасность, то есть является реципиентом риска. Так можно выделить оценки риска относительно состояния здоровья человека, оценки риска относительно состояния окружающей природной среды и т.д.

И, наконец, последний из основных признаков, по которым классифицируются оценки риска – мера ущерба. Если речь идет о последствиях аварии относительно человека, то мера ущерба – это единица измерения последствий относительно состояния здоровья человека.

Давайте зададимся вопросом: в каких случаях возникает необходимость в анализе уровня аварийной опасности в управлении уровнем опасности? Можно выделить следующие *основные области приложения теории аварийного риска*:

- 1 поддержка принятия решений по выбору принципиальных схем и основных технологических приемов на техногенном объекте, обеспечивающих приемлемый уровень безопасности жизнедеятельности человека и безопасности окружающей природной среды;
- 2 поддержка принятия решений по размещению техногенных объектов;
- 3 разработка планов обеспечения безопасности жизнедеятельности человека и защиты окружающей природной среды в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных антропогенными катастрофами.

Крупные аварии на химических объектах резко активизировали научно-методологическую и организационную деятельность по созданию системы химической безопасности. В. Маршалл [16] в своей книге приводит данные более чем по 30 авариям с токсическими веществами. Показывает, что каждая авария, как правило, сопровождается травмами, гибелью людей, большими материальными потерями, высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Особую роль сыграли аварии в Севезо (Италия) и Бхопале (Индия) (подробнее об этих авариях см. раздел 1.3. Авария в Севезо в 1976 году оставила глубокий след в сознании жителей Западной Европы. В связи с этим вышла знаменитая Директива ЕЭС №501 или «Директива Севезо» (1982 г.) [18]. «Директива Севезо» содержит требования по разработке планов

действий на промышленных объектах химического профиля с целью минимизации риска для персонала и населения, смягчения последствий химических аварий. Принятие «Директивы Севезо» привело к усилению деятельности по обеспечению химической безопасности в промышленной сфере, был организован Объединенный исследовательский центр под эгидой Европейской комиссии в г. Испре (Италия). Центр организует работу технических рабочих групп, состоящих из ученых различных стран, и именно с их участием разработана и действует в настоящее время Директива Севезо-2 [17-19].

С 1984 года действует система сбора информации о всех авариях, имевших место в странах Европейского Союза – система MARS (Major Accident Reporting System), приводится тщательный анализ причин и последствий аварий [20].

Авария в Бхопале (Индия) 3 декабря 1984 года оказала большое воздействие на общественное мнение в США. В результате учетки метилизоцианата на химическом предприятии, принадлежавшем американской компании, погибло свыше 2000 и получили различные травмы около 200 000 человек (общий ущерб составил \approx 50 млн. долларов). Эта авария потребовала коренным образом изменить взгляд на химическую опасность и ее место среди других видов опасности.

Отечественные нормативно-методические документы по анализу аварийного риска химически опасных объектов, удовлетворяющие современным требованиям, могут быть созданы на основе глубокой научной проработки проблемы химической безопасности в целом. В последние годы на русский язык были переведены важные наработки зарубежных ученых по данной проблеме [21-23].

Однако необходимо отметить, что это лишь малая часть разработок зарубежных авторов в данной области, основные разработки малодоступны из-за высокой стоимости и обязательно требуют учета российской специфики.

Разработки, выполненные при Американском институте инженеров-химиков (AIChE) в Центре по безопасности химической промышленности (CCPS), были выпущены серией практических руководств [5,6,24,25]. В них рассматриваются методы качественной оценки опасностей и количественного анализа риска химических производств.

Достаточно последовательно и полно, на наш взгляд, принципы проведения анализа риска отражены в “Руководстве по количественному анализу риска химических производств”, выпущенном Центром по безопасности химической промышленности, существующим под эгидой Американского общества инженеров-химиков [6,24]. На основе большого опыта методических разработок эта организация рекомендует проводить анализ риска по схеме, включающей следующие основные этапы:

1. определение конкретных целей и задач анализа;
2. анализ технологической специфики объекта с описанием характеристик окружающей его среды;
3. идентификация опасностей, возможных аварий и сценариев их развития;
4. оценка частоты (вероятности) возникновения аварий и вероятности реализации характерных сценариев их развития;
5. оценка последствий (т.е. значений характеристик поражающих факторов и мер негативного воздействия на потенциальных реципиентов) с применением моделей расчета физических процессов и воздействий, имеющих место при реализации различных сценариев аварий;
6. оценка собственно риска через “объединение” последствий и вероятностей реализации всех возможных сценариев аварий, построение полей риска;
7. управление риском, заключающееся в выработке оптимальной стратегии по обеспечению безопасности людей и охране окружающей среды.

Позднее во втором созданном центре по оценке риска для населения и окружающей среды активно проводились работы в области токсикологии, эпидемиологии и др. Все это, а также специфика объектов химического профиля, как отмечают авторы [26], дали основание для того, чтобы провозгласить как самостоятельное научное направление теории аварийного риска - количественный анализ риска химических процессов (Chemical Process Quantitative Risk Analysis - CPQRA) [6]. Теория риска химических процессов отличается от анализа риска в других отраслях (в аэрокосмической технике, атомной энергетике, электронике и пр.):

1. значительно большим вниманием к утечкам токсичных химических веществ (ТХВ);
2. детальным рассмотрением последствий аварий, вызванных утечками ТХВ, а также комбинированных аварий, где распространение ТХВ в окружающем пространстве сочетается с пожарами и взрывами;
3. введением специальной терминологии, предназначенной для описания сценариев токсических аварий (инцидент, проявление инцидента, реализация инцидента и др.).

КАРХП (Количественный Анализ Риска Химических Процессов) – междисциплинарная наука, которая базируется на математическом моделировании поведения опасной субстанции, попавшей в окружающее пространство, включая токсические поражения субъектов биосферы, пожары, взрывы и их последствия. В ней широко используются вероятностные методы теории надежности, гидравлика, физическая и аналитическая химия, прикладная метеорология, токсикология, инженерная психология и др [6,28].

Разработки данных центров и целого ряда частных коммерческих фирм, специализирующихся на вопросах химической безопасности, уже сегодня в США служат методической основой при создании законодательно-правовой и нормативной базы по проблемам химической безопасности.

Под *химической безопасностью* понимается совокупность определенных свойств объектов окружающей среды и создаваемых регламентируемых условий, при которых, с учетом экономических, социальных факторов и научно-обоснованных допустимых дозовых нагрузок химических вредных веществ, удерживается на разумно низком минимально возможном уровне риск возникновения аварии на химическом опасном объекте, а также риск прямого или косвенного воздействия этих веществ на окружающую среду и человека, и исключаются отдаленные последствия воздействия химических вредных веществ для настоящих и последующих поколений [26].

В нашей стране становление этого направления связано с именами В.А. Легасова, В.А. Еременко, И.И. Кузьмина, Н.А. Махутова и др. [2,3,10,28]. Именно в мыслях В.А. Легасова, являвшегося руководителем кафедры химической технологии Химического факультета МГУ, в 1986 году созрела концепция безопасности [3]. Он отмечал, что весь

международный опыт, все научное сообщество должно привлекаться к оценке риска проектируемых объектов, должна быть создана система инспекций (международных), непрерывно контролирующих правильность исполнения и функционирования опасных объектов.

Наряду с этим, появилось большое число отечественных книг и публикаций, в которых рассматриваются различные аспекты проблемы химической безопасности [15,27,29-39].

Можно также отметить, что в Российской Федерации в последние годы заметно активизировалась деятельность по созданию законодательной и нормативно-методической базы в области промышленной безопасности. Начиная с 1991 г., деятельность в этом направлении координировалась в рамках ГНТП "Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф". В 1999 г. принята новая государственная программа такого же типа. Приняты законы РФ "Об охране окружающей природной среды" (1992 г.), "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" (1994 г.), "Об экологической экспертизе" (1996 г.), "О промышленной безопасности" (1997 г.) [11]. Готовятся другие важные законы в этой области. Внедрена система оформления паспортов безопасности веществ, экологических паспортов предприятий. Начиная с 1997 г. каждое опасное предприятие РФ обязано разрабатывать декларацию безопасности, подлежащую экспертизе, и получать от соответствующих органов лицензию на право производственной деятельности. Все эти акты так или иначе связаны с обеспечением химической безопасности. А закон "О промышленной безопасности", который в основных своих положениях копирует концепцию известной "Директивы Севезо", действующей в странах Европейского Союза, нацелен преимущественно именно на обеспечение химической безопасности в промышленной сфере. Однако говоря об оценке законодательно-правовой деятельности в области промышленной безопасности, нельзя не согласиться с мнением ведущих российских ученых в этой области, высказанным в послесловии к книге [2]. Они утверждают, что "сегодняшнее законодательство России и других стран СНГ в области промышленной безопасности продолжает базироваться на концепции "абсолютной безопасности".

Среди различных видов техногенной опасности для людей и окружающей среды химическая опасность занимает особое место.

Учитывая специфические особенности химической опасности, проявляющиеся в аварийном и/или систематическом загрязнении окружающей природной среды, профессор Г.Ф. Терещенко сформулировал принципы химической безопасности. *Система обеспечения химической безопасности* должна опираться на анализ и управление химическими рисками, исходя из базового положения о приемлемых уровнях риска взамен существовавших ранее подходов к обеспечению полной (абсолютной) безопасности. В основу выбора подходов к оценке риска должна быть положена концепция многосредового воздействия с учетом взаимного влияния сред [1].

Законодательно-правовые акты в области химической безопасности найдут воплощение в реальной жизни только при условии, если будет создана необходимая нормативно-методическая база в виде ГОСТов, норм, рекомендаций, методик, баз данных и знаний. Такая работа проводится, однако нельзя признать ее соответствующей требованиям времени.

1.2. Химическая опасность, химически опасные объекты и обеспечение безопасности

Среди различных объектов техносферы значительную долю составляют объекты химического профиля или химические объекты, в которых обращаются различные химические вещества. Химические вещества при всей их пользе и необходимости таят в себе значительные опасности для людей и окружающей среды. Подавляющее большинство из них обладают токсичностью, и их воздействие на живые организмы может приводить к токсическим поражениям различной степени тяжести, включая летальные исходы. Многие химикаты, используемые в промышленности, к тому же и огнеопасны. Паровоздушные смеси, образованные на их основе, способны взрываться. Все это предопределяет опасность объектов техносферы, где обращаются химические вещества.

Под **опасностью** понимаются явления, процессы, действия или условия, чреватые наличием потенциала, который может нанести ущерб здоровью людей, привести к их гибели, нанести ущерб окружающей среде, привести к потере сохранности материальных объектов антропогенного происхождения [27,40]. **Опасности**, содержащиеся в объектах химического профиля, обусловлены наличием в них токсического и энергетического потенциала. Надо подчеркнуть вероятностную природу этого понятия. Опасность - это предтеча возможных негативных событий, но не сами эти события. Они могут произойти, но могут и не осуществиться, более подробно это будет рассмотрено в следующем разделе пособия.

Основные виды техногенных опасностей согласно [28] следующие: химическая, радиационная и бактериологическая опасности. Объекты химического профиля характеризуются химической опасностью. Последняя подразделяется на токсическую, пожаро- и взрывоопасность. **Токсическая опасность** предопределяется наличием токсического потенциала. **Пожаро- и взрывоопасность** обусловлены энергетическим потенциалом.

При высвобождении токсического потенциала, сконцентрированного на объекте, опасность может преобразоваться в токсическую аварию. Высвобождение энергетического потенциала может привести к превращению соответствующей опасности в пожар или взрыв. Возможны комбинированные аварии: пожар в сочетании с

токсической аварией, когда огнеопасное вещество является одновременно и токсичным веществом, или когда нетоксичное вещество (материал) при горении выделяет токсичные вещества.

Химическая (токсическая) опасность отличается рядом важных специфических особенностей [40]:

Во-первых, химические продукты (**токсичные химические вещества - ТХВ**) обращаются на множестве **химически опасных объектов (ХОО)**. К ним относятся не только предприятия химической, нефтехимической, металлургической и других видов промышленности, где ТХВ содержатся в сырье, вспомогательных материалах, технологических смесях, продуктах и отходах.

Опасность присуща не только стационарным химико-технологическим объектам, но и транспортным средствам, постоянно перемещающим по суше, воде и воздуху громадные массы токсически опасных грузов.

Во-вторых, токсическая опасность химических продуктов, производимых и используемых в промышленности, проявляется не только в авариях, но и при "нормальном" режиме эксплуатации промышленных предприятий. Химические объекты промышленного назначения работают по принципу открытой системы. В них поступают сырье и вспомогательные материалы; в объектах обращаются также технологические смеси, образующиеся продукты. С другой стороны из объектов в окружающее пространство уходят отходящие газы, сточные воды и твердые отходы. Все эти технологические составляющие зачастую являются в той или иной мере токсичными, их попадание в окружающую среду и нахождение в ней представляют опасность.

В-третьих, химическая опасность, обусловленная попаданием токсикантов в окружающую среду, может проявляться на значительном удалении от источников токсического загрязнения (трансграничный и трансконтинентальный перенос). Токсические аварии могут сопровождаться образованием вторичных источников токсического поражения в виде зараженных объектов и участков, которые могут существовать и проявлять себя длительное время после аварии.

В-четвертых, токсическому воздействию подвержены буквально все представители биосферы. Разнообразны пути попадания токсикантов в живые организмы, многообразны механизмы токсического поражения и если ранее учитывался пороговый характер воздействия, то в самое

последнее время установлено, что многие химические продукты способны негативно воздействовать на человека при супермалых концентрациях и дозах, то есть в настоящее время применяется линейная зависимость (беспороговая) [42].

В-пятых, и это едва ли не главная особенность химической опасности, свойства многих ТХВ, способность негативно воздействовать на человека и ОПС, изучены слабо. Исследования механизмов воздействия в системах токсикант – организм, токсикант – окружающая среда – организм затруднены в силу исключительной вариабельности последствий токсического воздействия.

А между тем, по свидетельству крупных специалистов в области экотоксикологии [43] "...из 12860 исследованных продуктов при объеме их производства свыше 500 т/год для 78 % из них не имеется никакой информации о токсических свойствах этих химикатов".

В промышленности, сельском хозяйстве, в быту уже применяется более 100 тысяч химических веществ и ежегодно к ним добавляется 500-1000 новых химикатов. Токсический потенциал химических веществ, используемых в промышленности, сельском хозяйстве и в быту, исчисляется триллионами летальных доз. В книге [2] приводятся любопытные сведения по числу летальных токсических доз для человека, содержащихся в различных производствах Западной Европы. По хлору – 10 триллионов доз, по фосгену, аммиаку, синильной кислоте – 100 миллиардов доз по каждому соединению (по радиоактивным веществам, для сравнения, более 10 миллиардов доз).

Из всего сказанного выше следует, что токсическая техногенная опасность представляет собой большую угрозу для человечества.

Промышленным объектом, предприятием принято считать [21] совокупность элементов (цехов, установок, отделов), входящих в единый комплекс, находящихся на расстояниях не более 500 м и обеспечивающих единый технологический процесс. **Химический объект (объект химического профиля, ХО)** объект техносферы, где обращаются (производятся, получают, образуются, используются, перерабатываются, хранятся, транспортируются и/или уничтожаются) токсичные химические вещества. [40]

Химически опасным объектом (ХОО) принято называть объект техносферы, "при аварии на котором или разрушении которого может произойти массовое отравление людей, сельскохозяйственных животных

и растений либо химическое заражение окружающей природной среды химическими веществами в количествах, превышающих естественный уровень их содержания в среде" [44].

Химически опасные объекты могут быть разбиты на стационарные (неподвижные) и нестационарные (подвижные). Среди стационарных ХОО особое место занимают **ХТО - химико-технологические объекты**, в технологическом цикле которых используются токсичные химические вещества, способные при их попадании в окружающее пространство привести к массовым поражениям людей, животных и растений. ХТО - это химически опасные объекты, в которых производится переработка химической субстанции. ХТО, как правило, представляют пожаро- и взрывоопасность. ХТО является основной структурной единицей химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности, и многих других отраслей техносферы.

Типовой химико-технологический объект обычно расчленяют на составные части (участки) разного назначения. Среди них выделяют:

- основные технологические участки,
- вспомогательные участки (блоки),
- функциональные участки общего назначения.

Современные ХТО отличаются рядом специфических особенностей, влияющих на уровень опасности таких объектов [40].

Во-первых, они характеризуются многообразием различных производственных сред, которые используются на объекте. Многие из них обладают повышенной токсичностью, горючестью, воспламеняемостью и склонностью к коррозии.

Во-вторых, современные ХТО отличаются использованием агрегатов большой единичной мощности, в которых сконцентрированы значительные массы ТХВ.

В-третьих, на химико-технологических объектах в настоящее время в более широких масштабах, чем ранее, используется оборудование, работающее в экстремальных условиях (высокая и слишком низкая температура производственных сред, высокое давление и значительное разряжение в аппаратах, большие скорости движения, колебания элементов оборудования и др.)

В-четвертых, в химико-технологических схемах современных ХТО используется большое число структурных элементов разного назначения, от нормального функционирования (надежности, безотказности) которых во многом зависит безаварийность объекта в целом.

В-пятых, в состав ХТО теперь, как правило, входят автоматизированные системы управления, автоматические системы защиты и мониторинга, оснащенные современной вычислительной техникой, контроллерами, микропроцессорами, что должно учитываться при анализе надежности и уровня опасности ХТО.

Среди большого числа отличающихся по характеру процессов химической технологии можно выделить группу процессов, которые при определенных условиях, возникающих вследствие нарушения требований регламента, выходят в аварийные режимы с последствиями различной степени тяжести. Такие процессы называются **потенциально опасные процессы химической технологии** и их можно разделить на четыре группы: переработка и получение токсичных веществ; переработка и получение взрывоопасных веществ и смесей; процессы, протекающие с большой скоростью; смешанные процессы.

Большая часть потенциально опасных процессов химической технологии – это смешанные процессы, т.е. такие, которые можно отнести одновременно к двум или трем указанным группам. В них присутствуют все или часть видов опасности: токсичность, взрыв, механическое разрушение оборудования и аппаратуры, выброс реакционной массы, технологический брак.

Классификация потенциально опасных процессов химической технологии по виду опасности приведена на рис. 1.2.1. [45]

Причины, приводящие к отклонению от нормального режима работы и вызывающие аварийную ситуацию очень разнообразны. Основные причины возникновения аварийной ситуации можно свести к следующим [45]:

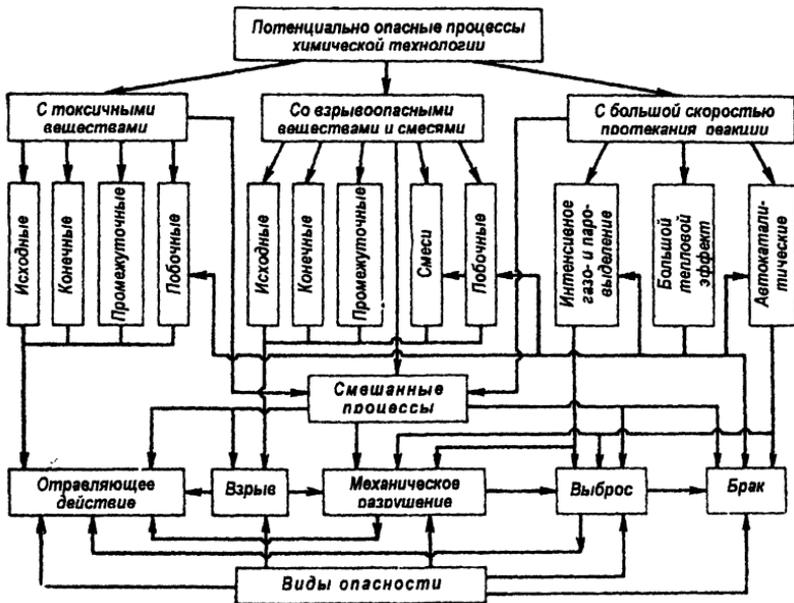


Рис. 1.2.1. Классификация потенциально опасных процессов химической технологии

1. Изменение соотношения подаваемых компонентов (непрерывный процесс) или скорости слива одного из компонентов (полунепрерывный процесс). И в том, и в другом случаях скорость химического превращения веществ растет, что приводит к увеличению количества выделяемого тепла, подъему температуры, ускорению побочных реакций, интенсивному газовыделению и пр. Оба отклонения возникают при отказах средств автоматизации, оборудования, регламентирующего подачу, или в результате ошибок обслуживающего персонала (при ручном управлении).
2. Снижение (или отсутствие) расхода хладагента, подаваемого для охлаждения. Это приводит к снижению теплоотбора, увеличению температуры и т. д. (см. п. 1) и возникает при

отказе средств автоматизации и технологического оборудования или в результате ошибок обслуживающего персонала.

3. Отсутствие перемешивания. В этом случае возможно накопление непрореагировавших компонентов, что при последующем включении мешалки ведет к интенсивному росту скорости реакции и, как следствие, к нарушению температурного режима. Возникает в результате отказа технологического оборудования (остановка или обрыв лопастей мешалки).
4. Попадание посторонних продуктов в аппарат. Приводит к ускорению побочных реакций, нарушению температурного режима и т. д. Возникает при отказе технологического оборудования и в результате ошибок обслуживающего персонала.
5. Нарушение состава исходных компонентов, подаваемых в виде смеси или раствора. Приводит к изменению соотношения реагирующих веществ, следствием чего возможно увеличение скорости химического превращения веществ и т.д. (см. п. 1). Причины этого нарушения — отказы средств автоматизации и ошибки обслуживающего персонала.
6. Нарушение режима удаления газов или паров. Приводит к увеличению давления и возникает при отказах средств автоматизации, технологического оборудования, стоящего на линии: отвода газов или паров из реактора, и при ошибках обслуживающего персонала.

Надежное средство интенсификации и защиты потенциально-опасных процессов – создание автоматических систем защиты.

В практике химических производств применяются и технологические методы снижения опасности, рассмотрим их.

Наиболее распространенный метод снижения опасности — установление так называемого безопасного регламента, настолько безопасного, что даже при резких возмущениях процесса его опасные параметры не могут приблизиться к границе устойчивости. Естественно, что при этом процесс ведется экстенсивно и скрытые в нем потенциальные возможности повышения эффективности производства не используются. Снижения скорости протекания процесса можно

достичь: уменьшением скорости подачи исходных компонентов; варьированием температурного режима; применением специальных разбавителей.

Второй технологический метод снижения опасности – замена периодического или полунепрерывного технологического процесса непрерывным.

Важной сферой обеспечения промышленной безопасности является **инженерная сфера**.

Можно выделить четыре основных направления) [46]

Первое направление - наиболее традиционное - **повышение надежности** используемого технологического оборудования, введение технических систем обеспечения безопасности (двойные стенки резервуаров, факельные системы, предохранительные клапаны, обвалования и т.п.)

Второе направление - придание технологиям "**внутренне присущей**" безопасности. Наиболее известные примеры такого подхода - сокращение объемов опасного вещества или замена их неопасными компонентами (функционально подобными исходным веществам), а также модификация используемых технологических процессов.

Третье направление - административное - в рамках которого осуществляется **менеджмент** (т.е. планирование, организация, руководство и контроль) всей системой взаимосвязанных действий по обеспечению безопасности. Здесь имеется в виду распределение ответственности, учет человеческого фактора, ведение проекта и внесение в него необходимых исправлений, расследование происшествий и подготовка персонала, проведение ревизий, осуществление контроля технологий и т.п.

Четвертое направление в практическом осуществлении безопасности в промышленности - это **организация действий в чрезвычайных ситуациях**. Эти действия осуществляются с помощью систем раннего обнаружения и предупреждения аварии, технических средств противодействия ее распространению: водяных и паровых завес, управляемых источником воспламенения, нейтрализаторов токсичности паровых облаков и т.п.

Рациональный объем внедрения мероприятий по предотвращению ущерба, расчет сил и средств для локализации и ликвидации последствий

аварии невозможен без прогноза возможного развития аварий и их последствий.

1.3. Техногенные аварии и катастрофы на объектах с химическими технологиями, их классификация и возможные последствия

Аварией называют несанкционированное высвобождение сконцентрированных на ХТО опасностей (токсического или энергетического потенциала) и их поражающее воздействие на людей и окружающую среду (ОС) [27].

Токсическая авария - несанкционированное высвобождение ТХВ, распространение их в окружающем пространстве и поражающее действие на людей и окружающую среду [27].

Сценарий аварии состоит в описании воображаемого, но правдоподобного сочетания случайных событий, которые могут в будущем привести к возникновению и развитию явлений, составляющих аварию.

Обычно совокупность случайных событий, составляющих токсическую аварию, можно подразделить на две группы. В первую группу входят события, образующие фазу иницирования аварии. Это – иницирующие, промежуточные события и сам инцидент.

Вторую группу образуют события, связанные с выходом токсического или энергетического потенциала в окружающее пространство, формирование поля поражающих факторов и воздействие поля поражающих факторов на реципиентов.

Реципиентами аварии являются люди, а также фауна и флора, составляющие биоту, а также абиотические элементы окружающей природной среды (атмосфера, поверхностные воды, почва) и **материальные объекты антропогенного происхождения (МОАП)**. Под последними понимаются оборудование, имущество, здания, сооружения и т.д. На рис. 1.3.1 представлена блок-схема основных атрибутов химической опасности и её реализаций [40].

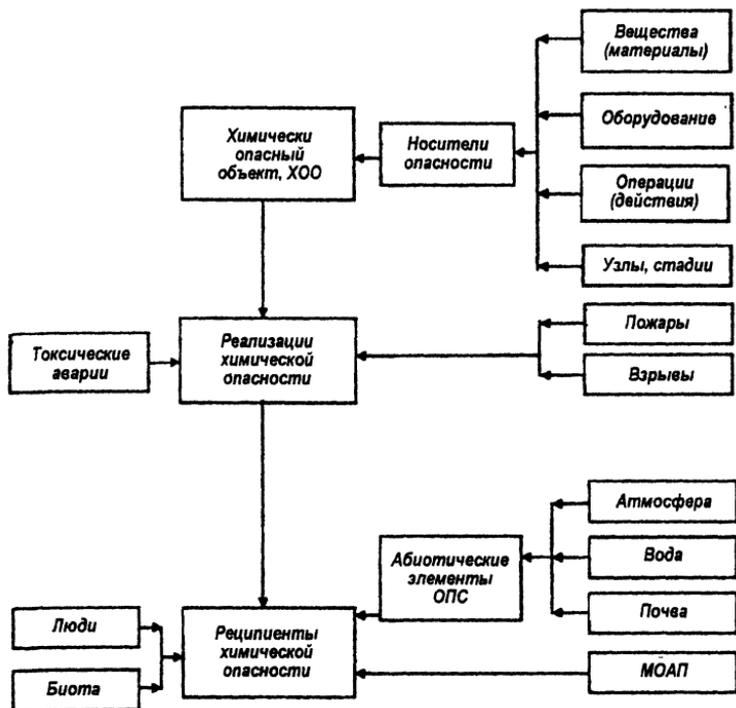


Рис. 1.3.1. Блок-схема основных атрибутов химической опасности и ее реализаций

Сегодня химические технологии в той или иной степени используются во всех отраслях промышленности. При этом, в большинстве случаев даже при нормальном функционировании этих объектов имеет место выброс в атмосферу или сброс в водную среду тех или иных загрязняющих веществ. В табл.1.3.1 представлены данные по динамике этих выбросов и сбросов в России [47].

Таблица 1.3.1

Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух
(тыс. т)
и сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты
(млн.м³)

<i>Отрасль промышленности</i>	<i>1995г.</i>	<i>1996г.</i>	<i>1997г.</i>
Промышленность	<u>18140,4</u> 8574	<u>16661</u> 7443	<u>15852</u> 7335
Электроэнергетика	<u>5017,7</u> 1090,5	<u>4748,5</u> 1072,7	<u>4487,6</u> 1325,5
Цветная металлургия	<u>3693,2</u> 529,0	<u>3598,0</u> 482,7	<u>3621,6</u> 425,3
Черная металлургия	<u>2735,3</u> 757,7	<u>2535,5</u> 704,9	<u>2379,5</u> 691,7
Нефтедобывающая промышленность	<u>1409,1</u> 31,1	<u>1309,65</u> 24,73	<u>1325,0</u> 21,01
Нефтеперерабатывающая промышленность	<u>908,6</u> 317,4	<u>849,1</u> 227,8	<u>819,3</u> 192,9
Машиностроение и металлообработка	<u>725,6</u> 782,1	<u>602,45</u> 640,4	<u>543,3</u> 623,9
Угольная промышленность	<u>626,5</u> 740,2	<u>595,7</u> 637,5	<u>535,3</u> 620,0
Промышленность строительных материалов	<u>674,2</u> 129,5	<u>528,0</u> 123,1	<u>467,8</u> 113,6
Газовая промышленность	<u>707,7</u> 4,5	<u>541,8</u> 5,92	<u>451,1</u> 2,8
Химическая и нефтехимия промышленность	<u>525,0</u> 1525,4	<u>454,1</u> 1363,0	<u>415,4</u> 1322,0
Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность	<u>522,2</u> 1799,3	<u>434,3</u> 1443,1	<u>383,5</u> 1323,4

Пищевая промышленность	<u>300,3</u> 171,7	<u>250,2</u> 123,6	<u>224,4</u> 115,9
Легкая промышленность	<u>74,2</u> 170,8	<u>64,3</u> 149,7	<u>56,0</u> 138,6
Сельское хозяйство	<u>—</u> 3172,7	<u>—</u> 2574,1	<u>—</u> 3264,2
Жилищно-коммунальное хозяйство	<u>—</u> 12503,7	<u>—</u> 12071,8	<u>—</u> 12053,0

* выбросы в атмосферу

сбросы в водные объекты

Основу веществ, загрязняющих атмосферу, составляют окись углерода (28%), сернистый ангидрид (16,3%), окислы азота (6,8%), аммиак (3,7%), сероуглерод (2,6%), сероводород (0,6%), толуол (1,2%), ацетон (0,95%), дихлорэтан (0,6%) и другие.

Со сточными водами сбрасываются нефтепродукты, нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты, фосфор, цианиды, родониты, кадмий, кобальт, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, хром, цинк, сероводород, сероуглерод, бензол, формальдегид, фенолы, пестициды и т.д.

В результате этих выбросов и сбросов во многих районах, где работают объекты, использующие химические технологии, сегодня имеет место превышение среднегодовых предельно-допустимых концентраций в атмосферном воздухе и поверхностных водных объектах, загрязнение подземных вод. Высокая степень загрязнения атмосферного воздуха и воды приводит к накоплению загрязняющих веществ в почвах.

Безусловно, наиболее масштабные и опасные техногенные загрязнения происходят при авариях и катастрофах на объектах, использующих химические технологии, особенно на химически опасных объектах, где производятся, перерабатываются, используются, транспортируются или хранятся **аварийно химически опасные вещества**. Аварийные выбросы и сбросы (разливы), при авариях которых нередко приводят к катастрофическим последствиям.

Сегодня на территории России функционируют более 3600 такого рода объектов, имеющих значительные запасы АХОВ. Суммарная

площадь, на которой может возникнуть очаг химического заражения, составляет 300 тыс. км² с населением около 54 млн. человек [40]. Классификация таких объектов по степени опасности приведена в табл. 1.3.2.

Таблица 1.3.2

Классификация предприятий по степени химической опасности [22]

<i>Степени химической опасности объектов</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Критерии отнесения объектов к степеням химической опасности	В зону возможного химического заражения АХОВ при аварии попадает более 75 тыс. человек	В зону возможного химического заражения АХОВ при аварии попадает от 40 до 75 тыс. человек	В зону возможного химического заражения АХОВ при аварии попадает менее 40 тыс. человек	Зона возможного заражения АХОВ при аварии не выходит за пределы территории объекта или его санитарно-защитной зоны

Наличие большого количества факторов, от которых зависит безопасность функционирования химически опасных объектов, определяет сложность решения проблемы предупреждения химических аварий и катастроф.

Химические аварии, обусловленные выбросом (выливом) АХОВ, обычно подразделяются на три типа:

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

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

Несмотря на предпринимаемые меры по обеспечению промышленной безопасности (многие потенциально опасные производства спроектированы, исходя из условия, что вероятность крупной аварии на них не превышает 10^{-4}), полностью исключить вероятность возникновения аварии практически невозможно.

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

По масштабам последствий химические аварии имеют свою специфическую классификацию [40]:

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

В химических авариях обычно выделяют 4 фазы: инициирование аварии; развитие аварии; выход последствий аварии за пределы объекта; локализация и ликвидация последствий аварии [48,49].

Содержание и характеристика этих фаз приведены в табл.1.3.3.

Содержание фаз развития химических аварий

№пп	Фаза	<i>Динамика развития</i>	
		<i>Аварии на хранилищах и при ведении технологических процессов</i>	<i>Транспортные аварии</i>
1.	Инициирование аварии вследствие накопления отклонений от нормального процесса или неконтролируемой случайности, в результате чего система приходит в неустойчивое состояние	Накопление дефектов в оборудовании; ошибки при проектировании, строительстве и монтаже оборудования; ошибки в эксплуатации оборудования; нарушение технологического процесса	Ухудшение состояния железнодорожного пути; некачественное ведение ремонтных работ, возникновение неполадок в подвижном составе; нарушение правил перевозок; столкновение с другими транспортными объектами; коррозия трубопроводов и т.д.
2.	Развитие аварии, в течение которой происходит нарушение герметичности системы (емкости, реактора, цистерны и т.д.) и попадание АХОВ в атмосферу	Возникновение пожаров, взрывов, разливы, выбросы АХОВ в окружающую среду	Сход с рельсов цистерн, пожары, взрывы, разливы, выбросы АХОВ в окружающую среду
3.	Выход последствий аварии за пределы объекта	Распространение газовой волны и ее выход за пределы объекта, поражающее воздействие АХОВ на население и производственный персонал	

4.	Локализация и ликвидация последствий аварии	Проведение мероприятий химической защиты в т.ч. по локализации и ликвидации источника заражения
----	---	---

Возможные масштабы последствий химических аварий и катастроф можно рассмотреть на ряде характерных аварий, имевших место на объектах, использующих химические технологии.

Рассмотрим примеры аварий, которые изменили осознание роли химической опасности техногенного объекта в сознании общества [21,47].

А). АВАРИЯ НА ЗАВОДЕ В СЕВЕЗО

10 июля 1976 года на заводе в г. Севезо (Италия), принадлежащем фирме ICMESA и выпускающем различные химические вещества, в основном ароматические соединения, произошла авария с нарушением герметичности реактора, в котором шел процесс получения 2,4,5-трихлорфенола, и выбросом его содержимого.

Получение 2,4,5-трихлорфенола осуществлялось путем взаимодействия при нагреве 1,2,4,5-тетрахлорбензола с гидроксидом натрия в присутствии этиленгликоля и ксилола. В качестве побочного продукта в ходе этого взаимодействия образовывалось небольшое количество 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-*p*-диоксина. С целью очистки конечного продукта от диоксина в конце технологического процесса в другом аппарате предусматривался его нагрев. Нагрев осуществлялся в специальной печи до температуры 1000°C, при которой происходило разрушение диоксина.

Причиной аварии послужило нарушение технологического регламента, в результате чего в реакторе началась неконтролируемая реакция, повысились температура и давление, произошло срабатывание предохранительного разрывного диска и утечка содержимого реактора в том числе диоксина в атмосферу. В результате образовалось облако, по форме напоминающее перевернутый конус, которое с достаточной большой скоростью перемещалось по направлению ветра. Высота облака составляла 20-50 м. По мере охлаждения конденсированные частицы осаждались на землю, напоминая хлопья мокрого снега.

По произведенным оценкам в результате аварии из аварийного реактора было выброшено 1,75 кг диоксина. На местности оказалось порядка 250 г. Путем анализа растительности и почвы были выявлены

три основные зоны заражения: зона А – наиболее зараженная, где средний уровень заражения составил $240 \cdot 10^{-6}$ г/м², а площадь – 1,08 км²; зона Б – со средним уровнем заражения $3 \cdot 10^{-6}$ г/м² и площадью 2,7 км²; зона В, где средний уровень заражения менее $5 \cdot 10^{-6}$ г/м², а площадь заражения – 14,3 км². Общая площадь заражения земель, использовавшихся под сельскохозяйственные угодья в районе Севезо, составила 17,1 км г/м². Эта территория оставалась впоследствии непригодной в течение нескольких лет. Никто не погиб, но было много пострадавших.

Ущерб от аварии в Севезо, причиненный людям, можно разделить на три вида: ожоги от контакта с очень едкими веществами, заболевание хлоракне и другие виды последствий.

От ожогов пострадало около 500 человек. Более чем у 200 человек было выявлено заболевание хлоракне, которое представляет собой заболевание кожи разной степени тяжести: от легкой формы, практически бессимптомной, до сильного обезображивания кожи. Среди других заболеваний большую часть составляли нервные заболевания.

Б). АВАРИЯ НА ЗАВОДЕ В БХОПАЛЕ

Авария на заводе в Бхопале (Индия), производящем пестициды и принадлежащем компании Union Carbide India, с утечкой метилизоцианата произошла 3 декабря 1984 года. На заводе действовало пять различных производств: установки по получению метилизоцианата (МИЦ), фосгена, сефина (из МИЦ), d-нафтола и окончательного получения пестицида.

В ночь с 2 на 3 декабря в одном из резервуаров, содержащем 41 т уже полученного метилизоцианата, в результате попадания воды, началось реагирование метилизоцианата с этой водой с образованием монометиламина и диоксида углерода, что привело к срабатыванию предохранительного клапана и утечки через него 30-35 т содержимого резервуара. Туманоподобное облако газа накрыло густонаселенную территорию к югу от завода.

Следует отметить, что системы защиты, установленные на аварийном резервуаре, не сработали. Система охлаждения резервуара в целях уменьшения текущих затрат завода была отключена. Система контроля и оповещения о повышении температуры в резервуаре была на момент аварии демонтированной. Не справился со своими задачами скруббер, ибо был рассчитан на абсорбцию небольших количеств

метилизоцианата. Более того, нет данных о том, что он находился в рабочем состоянии в момент аварии. В нерабочем состоянии было и факельное устройство, которое должно было окислить (сжечь) метилизоцианат до безопасных газообразных веществ.

Все это привело к огромным людским потерям: по неуточненным данным погибло более 2 тыс. человек, пострадало свыше 200 тыс. человек. Это самая крупная катастрофа за все время развития химической промышленности.

1.4. Этапы оценки последствий техногенных аварий

Как мы уже отмечали, анализ риска должен отвечать на следующие основные вопросы:

- что может произойти (идентификация опасностей);
- как часто это может случиться (анализ частоты);
- какие могут быть последствия (анализ последствий).

В настоящем подразделе мы более подробно рассмотрим последние два вопроса, а идентификации опасностей будет посвящен подраздел 2.6.

1.4.1. ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ (ЧА) – его назначение – оценить возможную интенсивность реализаций каждой из прогнозируемых наиболее опасных аварий. В отличие от вероятностей, интенсивности случайных событий измеряются в единицах, обратных времени.

Заметим сразу же, что в Российской Федерации в течение длительного периода времени не предавались огласке аварийные ситуации на промышленных объектах. В связи с этим в настоящее время имеются определенные трудности в ретроспективном анализе причин аварий, обработке статистических данных и получении необходимых сведений для определения интенсивностей (вероятностей) различных случайных событий, предшествующих авариям, а также самих аварий. Частотный анализ включает в себя в следующие этапы [40]:

- 1) нахождение интенсивностей (вероятностей) аварий,
- 2) выявление событий, наиболее сильно влияющих на интенсивности (вероятности) аварий,

3) разработка рекомендаций по снижению интенсивностей (вероятностей) наиболее опасных событий.

Частотный анализ опирается на использование теоретических положений теории вероятности и математической статистики, теории надежности, алгебры логики.

В зависимости от типа информации возможно в случае если события относительно часты (одно событие за несколько лет), достаточно может быть использование статистических данных или события относительно редки (одно событие в несколько десятков лет), необходимо использовать различные теоретические методы. Методика [44] предлагает следующие подходы:

- использование логических методов анализа (дерево отказов - ДО или дерево событий - ДС)

- экспертная оценка учета мнения специалистов в данной области

При рассмотрении всего спектра возможных событий используется сочетание статистических и приведенных выше подходов.

Надо отметить, что из перечисленных подходов к определению интенсивностей (вероятностей) аварий на ХТО наибольшее распространение получил подход, опирающийся на анализ совмещенных ДО и ДС.

1.4.2. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ ДО И ДС ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Получение количественных оценок потенциальной опасности промышленных объектов или различных явлений включает в себя решение следующих задач [49]:

- построение всего множества сценариев возникновения и развития аварии;

- оценку частот реализации каждого из сценариев возникновения и развития аварии;

- построение полей поражающих факторов, возникающих при различных сценариях развития аварии;

- оценку последствий воздействия поражающих факторов аварии на человека (или другие материальные объекты).

Множество причин возникновения аварийной ситуации можно поделить на четыре класса:

- 1) отказы оборудования;
- 2) отклонения от технологического регламента;
- 3) ошибки производственного персонала;
- 4) внешние причины (стихийные бедствия, катастрофы, диверсии и т.д.).

Для каждого из приведенных классов существуют методы, позволяющие или построить сценарий развития аварии или определить частоту ее возникновения.,

Для анализа фазы инициирования аварий, вызываемых отказами оборудования наиболее часто используется метод дерева отказов (ДО) [12,13]. Одним из главных достоинств метода является систематичное, логически обоснованное построение множества отказов элементов системы, которые могут привести к аварии. Метод ДО требует от исследователя полного понимания функционирования системы и характера возможных отказов ее элементов.

Метод разбивает аварию на составляющие компоненты, определяемые отказами оборудования. **Данный метод является методом "обратного осмысливания"**.

Результатом анализа дерева отказов является перечень комбинаций отказов оборудования. Каждая такая комбинация является минимальным набором отказов оборудования, одновременная реализация которых приводит к аварии.

Дерево отказов – это графическое представление логических связей между отказами оборудования и аварийными ситуациями.

Отказы, входящие в структуру дерева неполадок, могут быть поделены на три группы:

- 1) первичные отказы;
- 2) вторичные отказы;
- 3) отказы управления.

К первичным отказам относятся отказы оборудования, которые произошли при условиях, в которых обычно функционирует данное оборудование. Вторичные отказы происходят вследствие изменений

условий работы оборудования, в частности из-за отклонений от технологического регламента. Отказы управления имеют место, когда нормально функционирующее оборудование не получает по каким-либо причинам управляющих сигналов, что приводит в конечном счете к его неправильной работе.

Все три вида отказов могут присутствовать в структуре дерева неполадок.

Подробное описание анализа дерева отказов дано в работе [51]. Построенное дерево отказов дает много полезной информации, заключающейся в отображении взаимодействий неполадок оборудования, которые могут привести к возникновению аварии. Однако, за исключением самых простых деревьев отказов, даже самый квалифицированный исследователь не может определить непосредственно из дерева все комбинации отказов элементов, приводящие к аварии. Для этих целей разработаны специальные компьютерные коды [49,52].

Каждый технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от своих рекомендованных значений могут приводить к непредвиденным химическим реакциям, превышению рабочего давления и/или температуры и, как следствие, к повреждению (разрушению) технологического оборудования. Для оценки устойчивости процесса используют различные методы, указанные в подразделе 2.6.

При построении сценариев развития аварии учитываются как указанные выше отклонения, так и ошибки персонала, а также внешние события.

Внешние события могут инициировать аварии на различных объектах. Хотя частота наступления таких событий достаточно мала, они могут приводить к крупномасштабным последствиям. Внешние события могут быть поделены на две категории:

- природные явления: землетрясения, наводнения, ураганы и т.д.
- явления, возникающие в результате деятельности людей: авиакатастрофы, падение ракет, деятельность соседних промышленных объектов диверсии и т.д.

Включение в дерево отказов внешних причин требует от исследователя не только понимания особенностей функционирования

анализируемой системы, но и ее взаимосвязей с другими системами и природными явлениями. Прогнозирование многих природных явлений, и особенно оценка их количественных характеристик, связана со значительными трудностями.

Оценка частоты реализации различных сценариев аварии определяется с использованием метода деревьев событий (ДС) [19,51].

Во многих случаях информация о частоте аварий может быть получена непосредственно из записей о работе исследуемой системы или из записей о работе других подобных систем. Число зарегистрированных отказов должно быть поделено на общую длительность времени работы для определения частоты отказов. Численным результатом данного метода является математическое ожидание частоты, а не вероятность. Использование статистических данных не требует понимания механизмов инициирования аварии, как это требуется в случае применения дерева отказов.

Несмотря на то, что данный метод не позволяет строить сценарии фазы инициирования аварий, тем не менее, он может быть полезен при приближенной оценке частот реализации инициирующих событий на различных объектах.

Наиболее часто для анализа возможных сценариев развития аварии используют метод дерева событий. Данный метод позволяет проследить возможные аварийные ситуации, возникающие вследствие реализации отказа оборудования или прерывания процесса, которые выступают в качестве исходных событий. **В отличие от метода дерева отказов анализ дерева событий представляет собой "осмысливаемый вперед" процесс**, то есть процесс, при котором пользователь начинает с исходного события и рассматривает цепочки последующих событий, приводящих к аварии.

Метод дерева событий хорошо приспособлен для анализа исходных событий, которые могут приводить к различным эффектам. Каждая ветвь дерева событий представляет собой отдельный эффект (последовательность событий), который является точно определенным множеством функциональных взаимосвязей.

Основная процедура анализа дерева событий включает в себя четыре стадии:

1. Определение перечня исходных событий.

2. Определение "безопасных действий" для каждого исходного события.

3. Построение дерева событий.

4. Описание общей последовательности событий. Важной частью метода является первая стадия - выбор исходных событий. Как правило, для этих целей используют методы, описанные выше.

Исследователь должен определить все безопасные действия, которые могут изменить результат реализации исходного события, причем в той хронологической последовательности, в которой их предусмотрено принимать. Успех или неуспех безопасных действий включается в дерево событий.

На первом шаге построения дерева событий перечисляются исходное событие и безопасные действия. Далее исследователь должен определить: как успех или неуспех безопасного действия влияет на ход развития процесса.

Последним этапом процедуры построения дерева событий является описание последовательности событий, приводящих к аварии и которые должны представлять множество всех последствий, сопровождающих исходное событие.

Изложенные методические подходы к оценкам частот реализации различных сценариев возникновения и развития аварии предполагают наличие полной информации о частотах первичных отказов, взаимных влияниях отказов элементов и др. Однако в силу объективных причин это имеет место не всегда.

Особенно это относится к случаям, когда прогнозируются последствия аварий и катастроф на уникальных объектах, где используются нестандартные технологии, высокотоксичные и взрывчатые вещества, на объектах, относительно которых отсутствует статистическая информация об авариях. Недостаток статистической информации заменяется знаниями и интуицией эксперта. Интуицией, основанной на знаниях о физических и химических процессах, протекающих при возникновении предпосылок и развитии аварийных ситуаций на объекте.

Вероятности событий, рассчитанные на основе информации, накопленной за определенный интервал времени в прошлом, могут быть экстраполированы на будущее с использованием закона распределения

во времени случайных величин. Вид закона распределения определяется многими факторами. Действительно, события, входящие в аварийный сценарий, могут иметь различную природу: события, связанные с работой технических устройств, события, связанные с природными катаклизмами, события, связанные с «человеческим фактором». Событиям различной природы будут отвечать различные законы распределения частот. Соответственно и распределения вероятностей событий будут описываться различными функциями распределений.

Случайная величина ξ_i , функция распределения которой отвечает вероятности появления i -го аварийного сценария, имеет составное распределение [54]:

$$\xi_i = \zeta_i + \gamma_i + \eta_i$$

где ζ_i – случайная величина, распределенная по показательному закону и отвечающая за вероятность аварии вследствие технических неполадок, γ_i – случайная величина, отвечающая за аварию вследствие природных катаклизмов, η_i – случайная величина, отвечающая за аварию, связанную с «человеческим фактором». Распределения двух последних случайных величин устанавливаются эмпирическим путем.

Если F – частота появления некоторого события в течение года, связанного с авариями вследствие технических неполадок, то для вероятности события ζ_i используется формула:

$$P_a(t) = 1 - e^{-Ft}$$

Здесь $P_a(t)$ — вероятность того, что за время t событие a произойдет хотя бы один раз. Обычно под F понимается частота отказов, которая совпадает с условной интенсивностью отказов для случая постоянной частоты.

В качестве первого приближения, распределения для случайных величин γ_i , η_i аппроксимируются равномерным распределением. Тогда соответствующие вероятности

$$P_a(t) = F \cdot t$$

Отметим, что распределения случайных величин ζ_i , γ_i , η_i в общем случае, так же имеют составной характер. Если известны распределения случайных величин, входящих в величины ζ_i , γ_i , η_i , то возможен более детальный анализ аварийных сценариев. При этом возможно выделение последствий аварий, связанных с конкретными причинами технического

характера, с конкретными природными явлениями, с причинами, относящимися к «человеческому фактору».

В результате реализации опасности на промышленном объекте образуются поражающие факторы (ПФ) для населения, персонала, окружающей среды и самого объекта. Анализ последствий реальных аварий в промышленности [21] позволяет определить наиболее характерные поражающие факторы (ПФ). К ним относятся:

- 1 воздушная ударная волна взрывов облаков топливовоздушных смесей (ТВС) и конденсированных взрывчатых веществ;
- 2 тепловое излучение огневых шаров и горящих разлитий;
- 3 токсические нагрузки;
- 4 фрагменты, образующиеся при разрушении зданий, сооружений, технологического оборудования;
- 5 осколки остекления.

Построение полей ПФ – сложная и трудоемкая научно-техническая задача. Ее решению посвящено значительное число научных работ, существует также ряд утвержденных различными ведомствами методик.

1.4.3. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ (АП) – его назначение – произвести прогноз и оценку последствий возможных аварий на ХТО при условии, что вероятность их реализации равна 100% [40].

Количественный анализ аварийных событий базируется на использовании математических моделей и методов математического моделирования. На этом этапе используются математические модели разных классов. Основными среди них являются те, которые описывают поведение вредных примесей в окружающем пространстве.

Конечной целью данного этапа анализа аварийного риска является количественный прогноз, сравнительная оценка возможного ущерба от аварий на ХТО. Это важно и необходимо не только для разработки и реализации соответствующих рекомендаций по снижению возможного ущерба от аварии, но и для составления соответствующих планов реагирования на чрезвычайные ситуации.

При формировании математических моделей проявления инцидентов большое значение придается правильному выбору моделей

источников. К подобным моделям относятся прежде всего модели истечения вещества. Их форма зависит от ряда признаков: агрегатного состояния вещества (газ, жидкость, газожидкостная смесь); распределение вещества во времени (утечка мгновенная, непрерывная, полунепрерывная); распределение вещества в пространстве (утечка точечная, линейная, площадная, объёмная) и др.

Для математического описания инцидентов, связанных с выбросами перегретых жидкостей и сжиженных газов, важную роль играют модели вскипания и испарения жидкости с поверхности. Эти модели позволяют охарактеризовать источник, вызывающий образование облака паров опасных веществ. К моделям источников относят также и модели растекания жидких веществ по поверхности. Имитационное моделирование возможных реализаций инцидентов опирается на использование моделей источников, моделей полей поражающих факторов, моделей описания реципиентов, моделей смягчающих факторов и моделей поражения.

Модели полей поражающих факторов включают модели концентрационных полей токсичных веществ в разных средах; модели температурных полей, возникающих в случае пожаров и взрывов, модели распределения давления и осколков при взрывах. Для оценки последствий токсических аварии строят модели переноса токсикантов в воздушной среде (в атмосфере, в воздухе закрытых помещений); в поверхностных водах; в почве, включая грунтовые воды и в биоте. Всё более важное значение придаётся моделям межсреднего переноса поллютантов.

Под моделями описания реципиентов подразумеваются модели их распределения по видам и факторам уязвимости. К ним примыкают модели смягчающих факторов, в которых отражается защищённость реципиентов от воздействия поражающих факторов.

К моделям поражения относят модели токсического поражения людей, биоты; модели термического поражения, а также модели барического и осколочного поражения.

В результате имитационного моделирования должны быть получены прогнозные значения потерь для разных реципиентов для каждой возможной реализации инцидента (аварии).

Затем предполагается оценка полученных значений прогнозируемого ущерба от разных возможных аварий и сравнение их с допустимыми критическими значениями.

1.4.4. ПРОГНОЗ, СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ АВАРИЙНЫМ РИСКОМ

Определение величины аварийного риска, порождаемого ХТО, и разработка рекомендаций по его снижению играют исключительно важную роль во всей методологии анализа риска, связанного с авариями. Эти процедуры логически завершают и увенчивают множество различных подходов, методов и приемов, входящих в арсенал методологии анализа аварийного риска.

Можно условно разбить этот этап анализа риска на две части: **прогноз и сравнительная оценка риска (ПОР) и управление аварийным риском (УАР) [40].**

Назначение ПОР – произвести прогноз величины совокупного аварийного риска с учётом возможного ущерба от каждой отдельной аварии и её интенсивности и сравнить его с допустимым критическим значением.

Назначение УАР – разрабатывать в ходе проведения всех предшествующих этапов анализа риска рекомендации по снижению возможного ущерба и интенсивностей прогнозируемых аварий, чтобы достичь приемлемого критического значения совокупного аварийного риска при минимальных экономических затратах.

Анализ аварийного риска содержит ряд последовательно выполняемых процедур. Прежде всего предполагается, что должен быть выбран тип или вид аварийного риска и соответствующая ему мера.

Соответственно видам риска существуют и меры риска. Наибольшее распространение получили аварийный риск для одного человека – **локальный и индивидуальный риск**, риск для группы людей – **коллективный риск и индексы риска.**

Следующая процедура – выбор формы представления риска. Все виды риска могут быть представлены с помощью чисел (точные оценки) и/или графически.

После того, как форма представления риска выбрана, составляют модель прогноза и производят необходимые вычисления.

Затем следует процедура сравнительной оценки уровня аварийного риска, когда исследователь должен принять решение, приемлем риск или нет. Это решение принимается на основе сопоставления найденных значений риска с фоновыми и критическими значениями. Под **фоновым риском** для человека, например, понимается риск, которому подвержен человек в безаварийных условиях от различных природных, бытовых опасных события в данной области, в данном регионе. Фоновый риск служит отправной точкой для назначения критического уровня риска. Критический уровень определяет границу, превышение которой недопустимо. Величина критического уровня базируется на международном опыте и закладывается в нормативные документы [23].

Если уровень аварийного риска приемлем, анализ аварийного риска заканчивается. В противном случае, когда риск (или возможные потери) признаются недопустимо высокими. Производится исследование чувствительности, степени неопределенности и значимости составляющих аварийного риска. Выявляется "наиболее узкое звено" в системе обеспечения безопасности объекта. И сообразно этому, а также с учетом экономических аспектов, разрабатываются рекомендации по снижению уровня риска. Реализация подобных рекомендаций позволит снизить уровень опасности объекта.

Итак, к настоящему времени в мере сложились научные основы теории оценки опасности чрезвычайных событий, составляющие суть теории анализа риска.

Разработаны методы оценки частот реализации различных сценариев возникновения и развития аварии, построены модели образования полей поражающих факторов, а также модели воздействия поражающих факторов на человека, здания, сооружения, основные производственные фонды (критерии поражения).

В следующих главах пособия проводится описание особенностей и этапов реализации подхода широко применяемого лабораторией безопасности химических производств Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Этот подход включает следующие основные этапы:

- идентификация опасностей;

- вычисление (расчет) риска;
- анализ результатов расчета риска.

ЛИТЕРАТУРА К ВВЕДЕНИЮ И РАЗДЕЛУ 1.

1. Терещенко Г.Ф. России необходима программа химической безопасности. Химическая технология. 2002. №10, стр.2-7
2. Легасов В.А. Из сегодня в – завтра. Мысли вслух. М., 1996, 226с.
3. Легасова М.М. Путь к концепции безопасности. Журнал ВХО им.Менделеева, 1990, т.35, №4, с.405-408
4. Lees P.P. Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control. 2nd ed., 1996.
5. Guidelines for Safe Storage and Handling of High Toxic Hazard Materials. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1988.
6. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1989, 585p
7. Сафонов В.С., Одишария Г.Э, Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. М.: Изд-во «Олита», 1996, 208с.
8. Меньшиков В.В., Малыгин В.В. Внедрение принципа предотвращения экологической опасности. / Сб. науч. трудов: Управление техногенными рисками на уровне региона. Российский и международный опыт. – Иркутск: ИСЭМСО РАН, 1999, с.с. 53-75.
9. Меньшиков В.В., Швыряев А.А., Захарова Т.В. Анализ риска при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами. Учебн. пособ. – М.: Изд-во Химич. фак. Моск. ун-та, 2003, 120с.
10. Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та экономики и финансов. 1997, 164с.
11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Функционирование и развитие сложных народно-хозяйственных, технических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. Разд.1. М.: МГФ «Знание», 1998 , 448с.

12. Rasmussen Jens. Human error analysis in risk analysis. Paper abstract for IAEA-NASA workshop. Laxenburg, Austria. 1987
13. Report of the president's commission on the accident at Three mile island. Pergamon press. NY, 1979.
14. Меньшиков В.В. Анализ риска – подход для решения проблем безопасности населения и окружающей среды. / Науч. труды, вып. 4, серия «Реймерсовские чтения». М.: МНЭПУ, 2000, с.с. 27-37.
15. Количественная оценка риска химических аварий. / Под ред. Колодкина В.М. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001. – 228с.
16. Маршалл В. Основные опасности химических производств. // Пер с англ. // Под ред. Б.Б. Чайванова и А.Н. Черноплекова. М.: Мир, 1989, 671с.
17. Major Accident Hazards of Industrial Activities (“Seveso Directive”). European Economic Community Council Directive 82-501-EES Official Journal Reference NL230.5.8.1982, October 1982.
18. Басанина Т.Г., Кловач Е.В. Директива ЕЭС «О предупреждении крупных аварий (Директива Севезо)» / Безопасность труда в промышленности, 1993, №10, с.с. 30-47
19. Горский В.Г. и др. Новый подход к проблеме классификации химически опасных объектов. // Химическая технология, №10, 2002, с.с.23-28
20. Соловьянов А.А. Оценка опасности и прогнозирование аварий, связанных с выбросом химических веществ. // Рос. хим. журнал, 1993, №4, с.с.66-74
21. Хенли Э. Дж., Кумamoto Х. Надежность технических систем и оценка риска. // Пер. с англ. // Под ред. В.С. Сыромятникова. М.: Машиностроение, 1984, 528с.
22. Предупреждение крупных аварий. Практическое руководство. // Пер. с англ. // Под ред. Э.В. Попова. М.: МП «Рапор», 1992, 256с.
23. Ренн О. Три десятилетия исследования риска: достижения и новые горизонты. Вопросы анализа риска, 1999, т.1, с.с.80-99
24. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. 2nd Edition with Worked Examples. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1992, 461p.

25. Guidelines for Technical Process Safety. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. N.Y., 1987.
26. Горский В.Г. и др. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. – М.: Экономика и информатика, 2002, 260с.
27. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Словарь терминов и определений. Изд. 2-е. Доп. М.: МГФ «Знание», 1999, 361с.
28. Еременко В.А., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Описание и адаптация «Руководства по опасным работам в промышленности голландской фирмы TNO». Хим. промышленность, 1992, №7, с.с.432-437.
29. Оценка риска, связанного с объектами хранения химического оружия на территории Удмуртской республики. Под ред. Колодкина В.М. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1996, 218с.
30. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Методология анализа риска опасных производственных объектов. / Сб. материалов «Организация и методология проведения экспертизы в системе МЧС России» под ред. Е.А. Козлова. М.: АГЗ МЧС, 2002, с.с. 122-131.
31. Сильнодействующие ядовитые вещества и защита от них. // Под ред. В.А. Владимирова. М.: Воениздат, 1989, 176с.
32. Сильнодействующие ядовитые вещества. // Под ред. В.С. Юлина. М.: Военные знания, 1992, 63с.
33. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (Книга 1 и 2). - М.: МЧС России, 1994.
34. Измалков В.И. Экологическая безопасность, методология прогнозирования антропогенных загрязнений и основы проектирования химического мониторинга окружающей среды. Спб.: НИЦ экологической безопасности РАН, 1994, 132с.
35. Измалков В.И, Измалков А.В. Безопасность и риск при техногенных воздействиях. М.-Спб.: НИЦ экологической безопасности РАН, 1994, 250с.
36. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. Киев: КМУГА, 1997, 428с.

37. Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, природы и общества. Спб.: Наука, 1997, 248с.
38. Безопасность и предупреждение чрезвычайных ситуаций. Механизмы регулирования и технические средства. Каталог-справочник. М.: Институт риска и безопасности, 1997, 251с.
39. Перелет Р.А., Сергеев Г.С. Технологический риск и обеспечение безопасности производства. – М.: Знание, 1988, 64с.
40. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. – М.: Экономика и информатика, 2002. – 260 с.
41. Елохина А. И др. Методы оперативной оценки последствий аварии с токсическим выбросом. // Труды конференции. М.: ИБФ, 1990, с.24.
42. Авалиани С.Л. и др. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). М.: ЦОП РСИ, 2-ое изд., 1997, 160с.
43. Кортс Ф. и др. Экологическая химия. Основы и концепции. Пер. с нем. – М.: Мир, 1996. – 395 с.
44. Методика прогнозирования масштабов заражения СДЯВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и на транспорте. РД 32.04.253 – 90. – М., 1990. – 27 с.
45. Макаров Г.В. и др. Охрана труда в химической промышленности. – М.: Химия, 1989. – 496 с.
46. Елохин А.Н., Черноплеков А.Н. Система АПЕЛЛ – методология подготовки к чрезвычайным ситуациям технологического характера. Проблемы безопасности при ЧС. Вып. 5. – М., 1991. с.с. 8-96.
47. Владимиров В.А., Измалков В.И. Аварии и катастрофы. – М.: ЦС и МЧС ООО «Контракт-культура», 2000, 380с.
48. Легасов В.А. Проблемы безопасного развития техносферы. // Коммунист. 1987, №8.
49. Елохин А.Н. Анализ и управление риском: теория и практика. – М.: Лукойл, 2000. – 185 с.
50. Weber G.G. Methods of Fault Tree Analysis and Their Limits. U.K., 1984.

- 51.Меньшиков В.В. и др. Safety management at the Industrial Enterprises. Training course ITL. 02. Project COWI LTD (Denmark). CD – электронное издание на русском языке. М.: TESIS, 2002.
- 52.Муромцев Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. – М.: Химия, 1990. – 144 с.
- 53.Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. М.: Госгидромет СССР, 1987.
- 54.Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных катастроф. - М.: МГФ «Знание», 1999, 672с.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ К РАЗДЕЛУ 1

1. Какие обстоятельства привели к появлению современной теории безопасности?
2. Что позволяет методология риска при оценке безопасности производственной деятельности?
3. Оценка потенциального риска аварий.
4. Восприятие опасности реципиентом риска.
5. Области приложения теории аварийного риска.
6. «Директива Севезо» ее роль по обеспечению безопасности в промышленной сфере.
7. Особенности теории риска химических процессов.
8. Понятие «химическая безопасность».
9. Система обеспечения химической безопасности.
10. Рост техногенных аварий и создание новой системы промышленной безопасности
11. Количественный критерий оценки промышленной безопасности
12. Возможности методологии анализа риска при оценке безопасности
13. Области приложения теории аварийного риска
14. Понятие «химическая безопасность»
15. Специфические особенности, отличающие химическую опасность от других типов опасности
16. Методы обеспечения промышленной безопасности
17. Классификация химических аварий по масштабам последствий
18. Методы анализа последствий аварийных событий
19. Методы количественной оценки потенциальной опасности техногенных систем (ДО и ДС)

2. ПРИРОДА И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

2.1 *Техносфера. Техническая система. Промышленная безопасность.*

Техносфера – часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в технические и техногенные объекты (механизмы, здания, сооружения и т.д.) с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия социально-экономическим потребностям человека [1].

Под *технической системой (объектом)* понимается упорядоченная совокупность отдельных элементов, связанных между собой функционально и взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение некоторых заданных функций при различных состояниях работоспособности [1].

Объектами могут быть различные системы и их элементы, в частности: сооружения, установки, аппараты, устройства, агрегаты и отдельные детали. **Признаком системы** является структурированность, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели.

То или иное потенциально угрожающее состояние, связанное с деятельностью производственного объекта, может реализоваться в результате отказа технического устройства (оборудования), ошибочного проектного решения, ошибки персонала, обслуживающего технику, производственной неполадки, вредных воздействий при утилизации техники и отходов ее использования, внешних нештатных факторов и т.д.

В законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» дано определение: **«Промышленная безопасность»** – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных промышленных объектах и последствий указанных аварий [2].

В последние десятилетия прошлого столетия во имя улучшения экономических показателей промышленных предприятий произошло повышение единичной мощности объектов промышленности. Конечно,

все эти крупные объекты проектировались так, чтобы их надежность и безопасность была максимально высокой. Однако, несмотря на малую вероятность, аварии на таких объектах все же происходят, приводя к тяжелым последствиям. Более того, расчеты показывают, что меры, направленные на снижение вероятности таких аварий, в конечном итоге, на достижение «абсолютной» безопасности крупномасштабных объектов, связаны с очень большими экономическими затратами и делают сами эти технологии нерентабельными [3].

Понятно, что полностью гарантировать исключение вероятности аварийных ситуаций возможно лишь в технологических системах, лишенных запасенной энергии химически и биологически активных веществ.

Соответственно, поскольку нельзя обеспечить **«абсолютную» безопасность** населения и окружающей среды от техногенных и других факторов опасности, то, очевидно, следует стремиться к достижению такого уровня риска от этих факторов, который можно рассматривать как «приемлемый».

Уровень риска от факторов опасности, обусловленных хозяйственной деятельностью, является **«приемлемым»**, если его величина (вероятность реализации или возможный при этом ущерб) настолько незначительна, что ради получаемой при этом выгоды в виде материальных и социальных благ, человек или общество в целом готово пойти на этот риск [3].

Фактически переход на использование этого принципа означает переход от ограничения величины воздействия опасного фактора к ее снижению до оптимального уровня, принимая в расчет экономические и социальные факторы. В нашей стране четкую позицию, основанную на утверждении о том, что в сегодняшних условиях хозяйственной деятельности решение проблемы обеспечения безопасности человека и окружающей среды должно быть основано на принципе «приемлемого» риска, всегда занимал академик В. А. Легасов и его научная школа, членами которой считают себя и авторы данной работы.

2.2. Принципы, факторы и причины усиления техногенной опасности

Анализ имеющихся статистических данных по аварийности и травматизму свидетельствует, что главную угрозу представляют потоки энергии и вредных веществ, а основные *закономерности* в их появлении характеризуются следующим:

- а) аварийность и травматизм можно интерпретировать как совокупность сравнительно редких, случайных событий-происшествий;
- б) возникновение каждого из них обусловлено чаще всего не отдельно взятой причиной, а цепью соответствующих предпосылок;
- в) инициаторами и звеньями такой цепи служат ошибки людей, отказы техники и / или нерасчетные воздействия на них извне.

Выявленные выше закономерности позволили авторам [5] сформулировать энергоэнтропийную¹ концепцию техногенного риска, необходимую для обоснования объекта и предмета соответствующей деятельности, а также формулирования соответствующих принципов и методов.

Сущность энергоэнтропийной концепции заключается в следующем:

1. Техногенная опасность связана с энергопотреблением-выработкой, хранением и преобразованием механической, электрической, химической и других видов энергии.
2. На практике она реализуется в результате нежелательного высвобождения накопленных потенциалов и разрушительного распространения соответствующих потоков.
3. Внезапный выход и нежелательное распространение потоков энергии и вещества может сопровождаться техногенными происшествиями с гибелью людей, повреждениями техники и/или природной среды.
4. Данные происшествия вызваны предпосылками, приводящими к потере управления энергомассообменом, разрушительному воздействию его потоков на людей, оборудование и внешнюю среду

¹ Под энтропией принято принимать меру хаоса, дезорганизации и структурной неупорядоченности систем, интенсивности разрушения связей между их элементами

5. Указанные предпосылки делятся на ошибочные действия людей, отказы технологического оборудования и неблагоприятные воздействия на них извне.

Правомерность энергозентропийной концепции, как отмечают авторы, подтверждается эмпирическими данными: все известные техногенные происшествия обусловлены разрушительным высвобождением энергии и вредных веществ.

Научно-технический прогресс в XX веке привел к усилению техногенной опасности, и этот поворот вызван следующими причинами [6]:

- 1 Развитие производства вызвало непомерное увеличение объемов материального обмена с природой и энергетического уровня обмена и усиление негативных техногенных факторов. В результате чего нагрузка на природные защитные механизмы достигла уровня, превышающего подчас их возможности.
- 2 Прирост производственного потенциала совершался за короткий промежуток времени, в течение которого не могла произойти адаптация природной среды.

Таким образом, к общим факторам усиления техногенной опасности следует отнести объективно существующее противоречие между растущими потребностями человечества и скудеющими возможностями природы по их удовлетворению и как следствие между все увеличивающимся числом новых для человека вредных факторов и имеющимися у него защитными механизмами.

Академик К. Фролов объясняет наблюдаемую в РФ устойчивость тенденции нарастания техногенной угрозы тем, «что сложные технические системы, представляющие опасность для людей и окружающей среды, создавались, как правило, на основе использования традиционных правил проектирования и простейших методов расчета и испытаний, не отвечающих в полной мере требованиям к обоснованию безопасности таких систем» [7].

Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются *причинами*. Они характеризуют совокупность обстоятельств, благодаря которым опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные события – последствия. Формы нежелательного последствия различны: травмы, материальный ущерб,

урон окружающей среде и др. **«Опасность – причина – нежелательные последствия»** – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальное нежелательное последствие. Как правило, этот процесс является многопричинным.

Типичная причинная цепь техногенных происшествий в общем случае представляет следующую последовательность событий-предпосылок: ошибка человека, отказ используемого им оборудования и/или недопустимое для них внешнее воздействие → появление потока энергии или вещества в неожиданном месте и/или не вовремя ↔ отсутствие (неисправность) предусмотренных на эти случаи средств защиты и/или неправильные действия людей в такой ситуации ↔ воздействие движущихся потоков на незащищенные элементы техники, людей и/или окружающей их среды ↔ ухудшение свойств и/или целостности соответствующих материальных, людских и природных ресурсов [1].

Анализ причин аварийных ситуаций показывает, что основными *факторами* аварийности и травматизма следует считать слабые практические навыки работающих, их низкую технологическую дисциплинированность и неумение правильно оценивать информацию, низкое качество конструкции рабочих мест.

Причина тенденций роста количества чрезвычайных ситуаций заключается и в том, что при создании и эксплуатации техники не учитывается в должной мере принцип внутренней безопасности систем – система должна обладать защитными ресурсами, достаточными для исключения влияния дестабилизирующих факторов.

Источники опасности

Источниками опасности (материальными носителями) являются: человек; объекты, формирующие трудовой процесс и входящие в него: предметы труда, средства труда (машины, станки, инструменты, сооружения, здания, земля, дороги, энергия и т. п.); продукты труда; технология, операции, действия; природно-климатическая среда (грозы, наводнения, солнечная активность и т. п.); флора, фауна. При анализе обстановки среды деятельности человека вырисовываются как внешние, так и внутренние источники опасности.

Внешние источники – два рода явлений: состояние среды деятельности (технические системы) и ошибочные, непредвиденные

действия персонала, приводящие к авариям и создающие для окружающей среды и людей рискованные ситуации. При этом разные факторы среды обитания воздействуют неодинаково: если техника и технологии могут представлять непосредственную опасность, то социально-психологическая среда, за исключением случаев прямого вредительства, влияют на человека через его психологическое состояние, через дезорганизацию его деятельности.

Внутренние источники опасности обусловлены виктимностью – личными особенностями работающего, которые связаны с его социальными и психологическими свойствами и представляют субъективный аспект опасности (этот аспект более подробно рассматривается психологией безопасности деятельности).

2.3. Определение опасности

Опасность – объективно существующая возможность негативного воздействия на объект или процесс, в результате которого может быть причинен какой-либо ущерб, вред, ухудшающий состояние, придающий развитию нежелательные динамику или параметры [8].

Другими словами, *опасность* – следствие действия негативных (вредные и опасных) факторов на определенный объект (предмет) воздействия.

В данном пособии классификация факторов опасности сделана по «источникам опасности» и предлагается деление всех многочисленных опасных для человека и окружающей его среды факторов следующие четыре вида [8]:

- 1 экологические факторы – факторы, обусловленные причинами природного характера;
- 2 социально-экономические факторы – факторы, обусловленные причинами социального, экономического, психологического характера;
- 3 техногенные (или антропогенные) факторы – факторы, обусловленные хозяйственной деятельностью людей;
- 4 военные факторы – факторы, обусловленные работой военной промышленности.

Все эти факторы и их воздействия необходимо рассматривать комплексно с учетом их взаимного влияния и связей иерархического характера.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях возникновения опасных факторов носит вероятностный характер (аварии, стихийные бедствия и катастрофы и т.п.), в других случаях и существование детерминировано (например, загрязнение окружающей среды).

Следовательно, **«опасность»** - это ситуация, постоянно присутствующая в окружающей среде и способная в определенных условиях привести к реализации в окружающей среде нежелательного события – возникновению опасного фактора.

Опасность – свойство, внутренне присущее сложной технической системе. Она может реализоваться в виде **прямого** или **косвенного ущерба** для объекта (предмета) воздействия постепенного или внезапного и резкого – в результате отказа системы.

Определяющие признаки – возможность непосредственного отрицательного воздействия на объект (предмет); возможность нарушения нормального состояния элементов производственного процесса, в результате которого могут возникнуть нежелательные события.

Наличие хотя бы одного из указанных признаков является достаточным для отнесения факторов к опасным или вредным.

Собственно процесс развития опасности можно описать следующей логической последовательностью: *нарушение технологического процесса, допустимых пределов эксплуатации, условий содержания и т.п.* → *накопление, образование поражающих факторов, приводящих к аварии технические системы* → *разрушение конструкции* → *выброс, образование поражающих факторов* → *воздействие (взаимодействие) поражающих факторов с объектом воздействия (с окружающей природной средой, человеком, объектами техносферы и пр.)* → *реакция на поражающее воздействие* [1].

В зависимости от особенностей технической системы отдельные элементы приведенной цепи могут отсутствовать. Каждому такому событию можно приписать частный показатель в виде вероятности события: *вероятность отказа технической системы* → *вероятность аварийного исхода* → *вероятность образования поражающих факторов*

→ вероятность поражения объектов воздействия → вероятность вторичных поражающих факторов → вероятность воздействия → вероятность поражения. Из приведенной логической последовательности следует, что наличие потенциальной опасности в системе не всегда сопровождается ее негативным воздействием на объект. Любое исключение в цепи ведет к нереализации опасности.

Таким образом, для реализации опасности необходимо наличие

1. источника вреда
2. потенциальной жертвы
3. ситуации причинения ущерба.

Наличие, реализация и отсутствие опасности проиллюстрированы на рис. 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 соответственно [9].

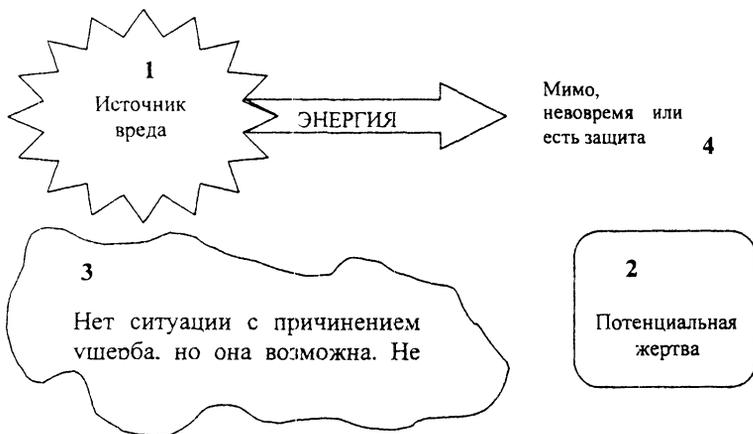


Рис.2.3.1. Иллюстрация наличия опасности

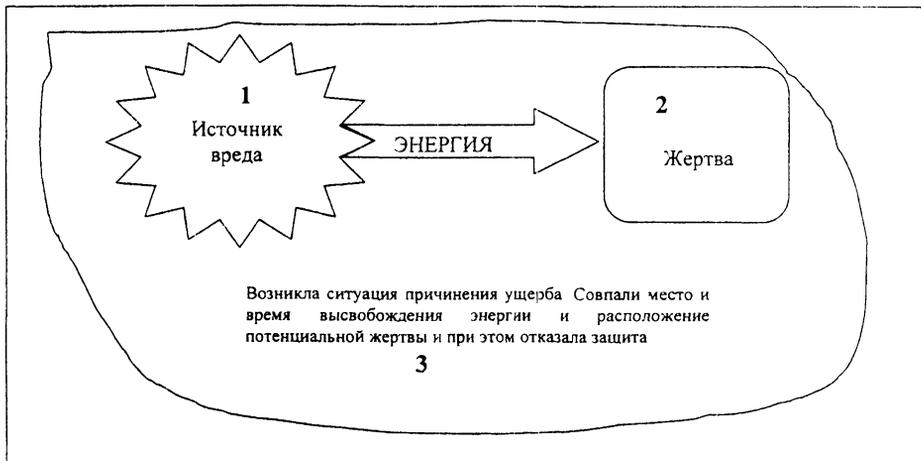


Рис.2.3.2. Иллюстрация реализации опасности

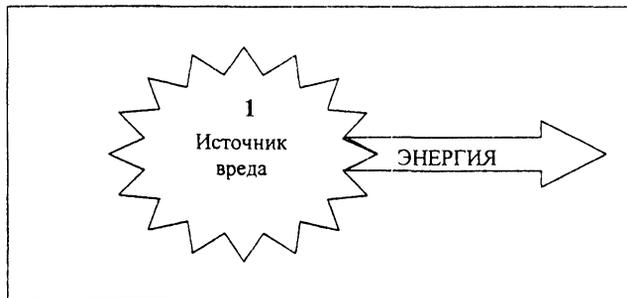


Рис.2.3.3. Иллюстрация отсутствия опасности

С учетом приведенного выше уточнения содержания опасности может быть сделано еще одно принципиально важное заключение: *для*

реализации опасности необходимо выполнение минимум трех условий:

- опасность реально действует (присутствует);
- объект находится в зоне действия опасности;
- объект не имеет достаточных средств защиты.

2.4. Аксиомы о потенциальной опасности технических систем

Анализ реальных аварийных ситуаций, событий и факторов и человеческая практика уже сегодня позволяют сформулировать ряд аксиом об опасности технических систем. Так авторы учебного пособия под редакцией М.И. Фалева приводят следующие аксиомы [1]:

Аксиома 1. *Любая техническая система потенциально опасна. Потенциальность опасности заключается в скрытом, неявном характере и проявляется при определенных условиях. Ни один вид технической системы при ее функционировании не обеспечивает абсолютной безопасности.*

Аксиома 2. *Техногенные опасности существуют, если повседневные потоки вещества, энергии и информации в техносфере превышают пороговые значения. Пороговые, или предельно допустимые, значения опасностей устанавливаются из условия сохранения функциональной и структурной целостности человека и природной среды. Соблюдение предельно допустимых значений потоков создает безопасные условия жизнедеятельности человека в жизненном пространстве и исключает негативное влияние техносферы на природную среду.*

Аксиома 3. *Источниками техногенных опасностей являются элементы техносферы. Опасности возникают при наличии дефектов и иных неисправностей в технических системах, при неправильном использовании технических систем. Технические неисправности и нарушения режимов использования технических систем приводят, как правило, к возникновению травмоопасных ситуаций, а выделение отходов (выбросы в атмосферу, стоки в гидросферу, поступление твердых веществ на земную поверхность, энергетические излучения и*

поля) сопровождается формированием вредных воздействий на человека, природную среду и элементы техносферы.

Аксиома 4. *Техногенные опасности действуют в пространстве и во времени.* Травмоопасные воздействия действуют, как правило, кратковременно и спонтанно в ограниченном пространстве. Они возникают при авариях и катастрофах, при взрывах и внезапных разрушениях зданий и сооружений. Зоны влияния таких негативных воздействий, как правило, ограничены, хотя возможно распространение их влияния и на значительные территории, например, при аварии на ЧАЭС.

Для вредных воздействий характерно длительное или периодическое негативное влияние на человека, природную среду и элементы техносферы. Пространственные зоны вредных воздействий изменяются в широких пределах от рабочих и бытовых зон до размеров всего земного пространства. К последним относятся воздействия выбросов парниковых и озоноразрушающих газов, поступление радиоактивных веществ в атмосферу и т. п.

Аксиома 5. *Техногенные опасности оказывают негативное воздействие на человека, природную среду и элементы техносферы одновременно.* Человек и окружающая его техносфера, находясь в непрерывном материальном, энергетическом и информационном обмене, образуют постоянно действующую пространственную систему «человек – техносфера». Одновременно существует и система «техносфера – природная среда». Техногенные опасности не действуют избирательно, они негативно воздействуют на все составляющие вышеупомянутых систем одновременно, если последние оказываются в зоне влияния опасностей.

Аксиома 6. *Техногенные опасности ухудшают здоровье людей, приводят к травмам, материальным потерям и к деградации природной среды.*

2.5. Классификация и систематизация опасностей

Отметим, что рассмотренная выше классификация факторов опасности требует соответствующей классификации и для всех многочисленных видов опасности. Они также могут подразделяться на четыре класса: экологические, социально-экономические и военные опасности. Следует заметить, что предложенное деление видов

опасности является условным в том смысле, что при изучении проблемы обеспечения безопасности человека, общества, природной среды воздействие этих опасностей в общем случае разделить почти невозможно.

Поскольку опасность является понятием сложным, иерархическим, имеющим много признаков, их классификация и систематизация выполняет важную роль в организации научных исследований в области безопасности деятельности и позволяет познать природу опасностей, дает новые подходы к задачам их описания, введения количественных характеристик и управления ими. Считаем необходимым привести примеры имеющихся классификаций и систематизаций опасностей [1]:

- по природе происхождения: природные, техногенные, антропогенные, экологические, смешанные опасности;
- производственные опасности: физические, химические, биологические, психофизиологические, организационные;
- по времени проявления отрицательных последствий: импульсивные (в виде кратковременного воздействия, например удар) и кумулятивные (накопление в живом организме и суммирование действия некоторых веществ и ядов);
- по месту локализации в окружающей среде: связанные с атмосферой, гидросферой, литосферой;
- по сфере деятельности человека: бытовые, производственные, спортивные, военные, дорожно-транспортные и т. д.;
- по приносимому ущербу: социальный, технический, экономический, экологический и т. д.;
- по характеру воздействия на человека: активные (оказывают непосредственное воздействие на человека путем заключенных в них энергетических ресурсов); пассивно-активные (активизирующиеся за счет энергии, носителем которой является сам человек; неровности поверхности, уклоны, подъемы, незначительное трение между соприкасающимися поверхностями и др.); пассивные – проявляются опосредованно (к этой группе относятся

свойства, связанные с коррозией материалов, накипью, недостаточной прочностью конструкций, повышенными нагрузками на оборудование и т. п. Проявляются в виде разрушений, взрывов и т. п.);

- добровольные и принудительные опасности: воздействию опасностей можно подвергаться как добровольно, например, занимаясь горнолыжным спортом, альпинизмом или работая на промышленном предприятии, так и принудительно, находясь вблизи места событий в момент реализации опасностей. Такой подход позволяет выделять опасности производственные и производственные (риск для населения);
- по структуре (строению): простые (электрический ток, повышенная температура) и производные опасности – порожденные взаимодействием простых (пожар, взрыв и т.п.);
- по сосредоточению: сконцентрированные (например, место захоронения токсичных отходов) и рассеянные (например, загрязнение почвы осажденными из атмосферы выбросами тепловых электростанций).

Таким образом, номенклатура опасностей составляется под цель при выполнении конкретных исследований

2.6. Идентификация опасностей

Под идентификацией (лат. *indentifico*) понимается процесс обнаружения и установления количественных, временных, пространственных и иных характеристик, необходимых и достаточных для разработки профилактических и оперативных мероприятий, направленных на обеспечение нормального функционирования технических систем и качества жизни.

Опасности характеризуются потенциалом, качеством, временем существования или воздействия на человека, вероятностью появления, размерами зоны действия.

Потенциал проявляется с количественной стороны, например, уровень шума, запыленность воздуха, напряжение электрического тока.

Качество отражает его специфические особенности, влияющие на организм человека, например, частотный состав шума, дисперсность пыли, род электрического тока.

Применяются численные, балльные и другие приемы количественного выражения опасностей.

Мерой опасности может выступать и число пострадавших. Известно, например, что каждый добытый 1 млн т угля в бывшем СССР стоил жизни одному шахтеру. В настоящее время в России этот уровень приблизился к двум [1].

Другой мерой опасности может быть и приносимый ее реализацией ущерб для окружающей среды.

Наиболее распространенной оценкой является риск – вероятность потерь при действиях, сопряженных с опасностями. Проблеме риска посвящена отдельная глава.

В процессе идентификации выявляются номенклатура опасностей, вероятность их проявления, пространственная локализация (координаты), возможный ущерб и другие параметры, необходимые для решения конкретной задачи.

Методы обнаружения опасностей делятся на [10]:

- *Инженерный*. Определяет опасности, которые имеют вероятностную природу происхождения.
- *Экспертный*. Он направлен на поиск отказов и их причин. При этом создается специальная экспертная группа, в состав которой входят разные специалисты, дающие заключение.
- *Социологический метод*. Применяется при определении опасностей путем исследования мнения населения (социальной группы). Формируется путем опросов.
- *Регистрационный*. Заключается в использовании информации о подсчете конкретных событий, затрат каких-либо ресурсов, количестве жертв.
- *Органолептический*. При органолептическом методе используют информацию, получаемую органами чувств человека (зрением, осязанием, обонянием, вкусом и др.). Примеры применения – внешний визуальный осмотр

техники, изделия, определение на слух (по монотонности звука) четкости работы двигателя и пр.

2.6.1 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ (РД 03-418-01)

Основные задачи этапа идентификации опасностей (РД 03-418-01 п. 4.3.) – выявление на основе информации безопасности объекта, данных экспертизы и опыта работы подобных систем и четкое описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации. Опасности могут проявляться в различной форме (взрыв, пожар, разлив, выброс) и в различных пространственно-временных масштабах (локальные, глобальные, мгновенные, отдаленные и пр.)

На стадии идентификации опасностей рекомендуется использовать один или несколько из перечисленных ниже методов анализа опасности (РД 03-418-01 п. 5.3.):

- «что будет, если..?»;
- контрольный (проверочный) лист;
- анализ опасности и работоспособности;
- анализ видов и последствий отказов;
- анализ «дерева отказов»;
- анализ «дерева событий»;
- соответствующие эквивалентные методы.

Краткие сведения о методах анализа опасности и рекомендации по их применению представлены ниже и более подробно даны в руководстве [11].

Результатом идентификации опасностей являются:

- перечень нежелательных событий;
- описание источников опасности, факторов опасности, условий возникновения и развития нежелательных событий (например, сценариев возможных аварий);
- предварительные оценки опасности (Например, при идентификации опасностей, при необходимости, могут быть

представлены показатели опасности применяемых веществ, оценки последствий для отдельных сценариев аварий и т.п.).

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

- решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей или достаточности полученных предварительных оценок;
- решение о проведении более детального анализа и оценки опасности;
- выработка предварительных рекомендаций по уменьшению опасностей.

Рекомендации по выбору методов идентификации опасности для анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены в табл 2.6.1.

Таблица 2.6.1.

Рекомендации по выбору методов анализа риска

<i>Метод</i>	<i>Вид деятельности</i>				
	<i>Размещение предпроектные работы)</i>	<i>Проектирование</i>	<i>Ввод или вывод из эксплуатации</i>	<i>Эксплуатация</i>	<i>Реконструкция</i>
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 таблице 2.6.1. приняты следующие обозначения:

0 — наименее подходящий метод анализа;

+ — рекомендуемый метод;

++ — наиболее подходящий метод.

Идентификация опасностей и областей уязвимости имеет фундаментальную важность в управлении безопасностью. Однако, идентификация опасностей – не простой вопрос. Во многих отношениях она становится все более трудной, поскольку возрастает сложность технологий. В управлении безопасностью имеется тенденция все более и более зависеть от систем управления, а в них не всегда легко обнаружить уязвимые места. Физические опасности также уже не видны только при поверхностном рассмотрении. С другой стороны, в настоящее время имеется доступный арсенал методов идентификации опасности, которые могут использоваться для решения этих проблем [11,12].

Схема предварительного анализа опасностей должна включать следующие этапы:

- идентификация носителей аварийной опасности;
- анализ возможных причин от инициирующего события до инцидента;
- анализ возможных путей развития аварийной ситуации;
- составление сценариев гипотетических аварий на основе выбранных наиболее опасных инцидентов.

Основные факторы токсической опасности, которые необходимо учитывать на стадии идентификации опасности объектов химико-технологических опасных объектов:

- опасные вещества и материалы;
- опасные элементы оборудования;

- опасные действия и процедуры.

Используемые для идентификации опасностей технические приемы могут быть представлены следующими тремя категориями, согласно установившейся мировой практике [12].

1. Сравнительные методы:

- регламентные проверки;
- ревизия безопасности;
- предварительный анализ опасностей.

2. Основные методы:

- анализ «что, если?»;
- исследования риска эксплуатации (АОР);
- анализ состояний отказов и их воздействия (АВПО).

3. Методы логических диаграмм:

- анализ деревьев отказов (АДО) и деревьев событий (АДС);
- причинно-следственный анализ;
- анализ надежности человеческого фактора.

Регламентные проверки используются для определения опасностей и выявления возможного несоответствия стандартным процедурам. Перечень проверок, естественно, ограничивается опытом специалистов, которые их выполняют. Качество результатов этой процедуры зависит от уровня понимания и знания ими самой системы или объекта и тех физических процессов, которые протекают в его элементах. По итогам каждой проверки принимается решение по типу «да — нет» о согласии со стандартными процедурами.

Аудит безопасности выполняется группой квалифицированных специалистов. Дается общая оценка безопасности объекта с учетом производственно-технических условий и организационных мероприятий. Детально ревизуются все потенциально опасные производственные процессы, оборудование, соответствующие системы безопасности; проводятся беседы с персоналом всех уровней от операторов и инженеров до администрации.

Изучаются данные обо всех несчастных случаях, отказах оборудования, рассматриваются противоаварийные планы. По результатам ревизии составляется итоговый отчет.

Предварительный анализ опасностей основан на предварительном изучении перечня опасностей, связанных с проектом объекта, системы или установки с рекомендациями по уменьшению или, если это возможно, исключению опасности на последующей стадии проектирования. Результат анализа имеет качественный характер. Численные оценки при проведении анализа не предполагаются.

Анализ опасности и работоспособности (АОР) подразумевает регулярное обследование объекта, включая трубопроводы и приборы систем контроля и управления с целью выявления возможных отклонений от нормативов. Помимо выявления опасности, данный метод является инструментом управления безопасностью, поскольку определяются необходимые меры для ликвидации нарушений и отклонений.

Анализ «что будет, если?» Главной целью метода является тщательное рассмотрение результатов возможных нештатных событий, которые могут иметь нежелательные последствия и развиться в аварию. Детально изучаются возможные отклонения от проектных решений в конструкции, элементах оборудования, параметрах технологических процессов. При этом, помимо выявления опасностей, возможна выработка предложений по уменьшению риска.

Анализ видов и последствий отказов (АВПО) предполагает анализ и структурирование системы по видам отказов оборудования с описанием того, как выходит из строя оборудование (например, отказы при открытии или закрытии запорной арматуры, неполное открытие или закрытие клапанов, вентилей, задвижек, течи в трубопроводах и элементах оборудования и т.д.); определение воздействия отказа (например, реакция системы на отказ). Метод АВПО требует знания того, как функционирует система в целом и как функционируют отдельные элементы системы.

Метод не применяется к анализу возможной комбинации и наложения отказов отдельных элементов системы, ведущей к аварии.

Метод дает лишь качественный результат, представляющий собой перечень элементов оборудования с видами отказов и их последствиями.

Анализ деревьев отказов (АДО). Выявляются комбинации отказов оборудования и ошибок персонала, которые могут привести к аварии. Анализ может использоваться на этапе проектирования системы для определения неочевидных видов отказов как результат взаимодействия и наложения отказов оборудования в процессе эксплуатации. Он может применяться в период испытания системы с участием оператора.

При наличии вероятностных характеристик отказов элементов оборудования сложной технической системы метод дает возможность получить количественные оценки вероятности так называемой тяжелой аварии с разрушением защитных оболочек и выходом опасных веществ в окружающую среду. Метод используется достаточно широко.

На различных стадиях реализации проекта требуются различные методы. В таблице 2.6.2 приведен список некоторых из этих стадий и соответствующих им методов идентификации опасности, который дополняет таблицу 2.6.1. Список иллюстративен и, в частности, техника, указанная для одной стадии может применяться также и к другой. Идеальной системы процедур идентификации опасности не существует. Наиболее подходящая процедура до некоторой степени видоизменяется с учетом типа технического процесса. Таким образом, например, предприятие, занимающееся переработкой больших партий большого числа разных органических химикатов, вероятно, будет намного больше заинтересовано в методах проверки и сортировки химикатов и реакций, чем завод, работающий только с этиленом.

Выбор метода идентификации опасности также зависит от цели, для которой выполняется исследование. Для идентификации опасностей при решении проблем эксплуатации на заводе подходит метод анализа опасности и работоспособности, в то время как для идентификации источников утечек для оценки необходимо провести специальное рассмотрение такого рода источников. При идентификации опасности важно сознавать использование уже имеющегося опыта. Использование стандартов и правил, безусловно, помогает избегать опасности, о которых люди могут даже не подозревать. Когда мы имеем дело с идентификацией опасности, то основным средством получения этого опыта в готовой форме и годного использованию являются контрольные листы.

Многие из используемых методов идентификации опасности связаны с ситуациями, в которых присутствует некоторый элемент новизны. Например, методы мониторинга и проверки используются,

чтобы обнаружить опасные утечки и продукты их химического разложения, метод анализа опасности и работоспособности (АОР) используется, чтобы определить, как часто уже известные виды опасностей могут возникнуть на новом предприятии. Для выбора метода идентификации можно воспользоваться данными таблицы 2.6.3.

Таблица 2.6.2

Методы идентификации опасности, применяющиеся на различных стадиях реализации проектов.

<i>Стадия проекта</i>	<i>Метод идентификации опасности</i>
Любые стадии	Аудит систем управления и безопасности Контрольные листы Опрос с рабочими и инженеров
Исследование и разработка	Предварительный анализ опасностей Химикаты (токсичность, неустойчивость, взрывчатость) Реакции (взрывчатость) Примеси Пилотные заводские установки
Предпроект	Индексы опасности Проверка концепции безопасности проекта Методы экспертной оценки на качественном уровне Страховые оценки Исследования опасности
Проект	Метод проверочного листа Контрольные листы безопасности Метод барьерных диаграмм Исследование опасности и работоспособности (АОР) Анализ видов и последствий отказов (АВПО) Деревья отказов и деревья событий (АДО и АДС)

	<p>Анализ опасности</p> <p>Оценка надежности</p> <p>Анализ надежности человеческого фактора</p>
Ввод в действие	<p>Анализ «Что будет, если?»</p> <p>Мониторинг состояния</p> <p>Аудит безопасности завода</p> <p>Планы на случаи чрезвычайных ситуаций</p>
Функционирование	<p>Метод проверочного листа</p> <p>Не деструктивные испытания</p> <p>Мониторинг состояния</p> <p>Мониторинг коррозии</p> <p>Отслеживание сбоев</p> <p>Аудиты по исследованию износа оборудования на заводе</p> <p>Аудиты безопасности предприятия</p>

Таблица 2.6.3.

Применение некоторых методов для идентификации опасности^а

Цель	Контрольные листы	Инспекции безопасности	Аудит безопасности	Сценарии развития аварии ^б	Анализ опасности и работоспособности (АОР)	Анализ виллов и последствий откзав (АВПО)	Анализ ошибок человека	Анализ дерева отказов (АДО)	Анализ дерева событий (АДС)	Моделирование последствий	Анализ предвзятельной опасности
Идентификация:											
Отклонений от регламента	+	+			+						
Опасностей	+	+		+							
Опасностей, угрожающих дееспособности проекта				+							
Опасностей, требующих приоритетного рассмотрения									+		
Несчастных случаев с наилучшим исходом									+		
Первичных (иницирующих) случаев									+		
Путей аварий, ведущих к утечкам									+		
Мер по уменьшению вероятности возникновения условий для аварийных ситуаций, частоты инициирующих случаев									+		
Сценариев увеличения масштабов последствий после утечек										+	
Мер по уменьшению частоты последствий										+	
Мер по смягчению последствий											+
Случаев, "сигнализирующих" о предстоящей аварии											+

^а таблица относится к методам идентификации опасности для случаев, когда предпринятно нанесится ущерб. Она не исключает методы идентификации опасности, цели которых очевидны, типа отслеживания реакции или инспекции по вводу в действие.

^б также методы типа метода "что, если?".

2.6.2 Пороговый уровень опасности

Организмы и растения способны без вреда для себя переносить воздействие опасностей в определенных количествах, например, загрязняющих веществ, теплового излучения, вибрации. Их уровень, ниже которого болезненные реакции не наблюдаются, называют пороговым уровнем. При больших количествах проявляются отрицательные воздействия. Они зависят от величины опасной дозы (D), так и от длительности воздействия (экспозиции) опасности (t). При короткой экспозиции (малой длительности) переносятся более высокие уровни, т.е. пороговые значения для них могут быть выше и понижаться при более длительной экспозиции (рис. 2.6.1) [1].



Рис. 2.6.1. Пороговый уровень воздействия опасностей

Для ряда опасностей, способных к биоаккумуляции, таких как, например, загрязнители элементов биосферы (тяжелые металлы, ДДТ), существуют определенные пределы, в рамках которых организм способен компенсировать их негативное воздействие. Именно такой подход заложен в ряд предельно допустимых значений — ПДУ (предельно допустимый уровень), ПДК (предельно допустимая концентрация) и др.

Для исключения необратимых биологических эффектов устанавливают нормируемые безопасные и предельно допустимые уровни или концентрации энергетического или биологического воздействия. При определении предельно допустимых значений приходится делать выбор между вероятностью нанести ущерб здоровью

человека и экономической выгодой обеспечения более жестких нормативов.

Пороговый уровень воздействия опасности существует и для технических систем, строительных конструкций, горно-технических сооружений и т. д. Он характеризуется способностью элементов технических систем, строительных конструкций и т.д. сопротивляться до определенного предела и в течение определенного времени негативным (разрушающим) воздействиям или полезным (рабочим) нагрузкам, сохраняя при этом свои заданные функции. Этот уровень оценивается качественными и количественными характеристиками материала элементов или систем в целом, именуемыми показателями надежности.

Таким образом, учет порогового уровня опасности, где «индикатором» уровня безопасности (уровня защищенности человека и окружающей его среды от опасностей) выступает степень надежности и эффективности обеспечивающих соблюдение ПДК. В этом случае, процесс повышения безопасности носит чисто отраслевой и инженерный характер. Такой подход, по крайней мере, до 70-80х годов XX века был оправдан, т.к. он соответствовал существовавшей реальной ситуации, характеризовавшейся возможностями биосферы к самоочищению от загрязняющих ее веществ и относительно простой технологией, относительно небольшой ее энергетической мощностью и, соответственно, относительно незначительными присущими ей опасностями (локального и временного характера). В этот период решение проблем защиты человека от техногенных опасностей, которые все же реализовывались, базировалось на принципе «реагировать и выправлять». Однако в настоящее время, как мы уже показали ранее, произошел переход в научных исследованиях проблемы обеспечения безопасности от концепции «нулевого» риска к концепции «приемлемого» риска [8].

Литература к разделу 2.

1. Акимов В.А. и др. Надежность технических систем и техногенный риск. - М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002, 368 с.
2. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (20.06.1997г.) // Гражданская защита. 1997, №11, с.с. 68-75.
3. Кузьмин И.И., Шапошников Д.А. Концепция безопасности: от риска «нулевого» - к «приемлемому». // Вестник РАН. Т.64, 1994, №5, с.с.402-408.
4. Легасов В.А., Чайванов Б.Б., Черноплеков А.Н. Научные проблемы безопасности техносферы. // Безопасность труда в промышленности. 1988, №1, с.44-51.
5. Белов П.Г. Сущность, принципы и методы регулирования техногенного риска. // Управление риском, 1998, №4, с.с.14-19.
6. Платонов С.А. Безопасное использование техники. // Безопасность жизнедеятельности. 2001, №5, с.с.6-11
7. Фролов К.В. Научные основы разработки ГНТП «Безопасность» // Информационный вестник Научного Совета ГНТП «Безопасность» вып. 1, 1996.
8. Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. Спб.: изд-во Сп.ГУЭиФ, 1997, 164с.
9. Гражданкин А.И. Разработка экспертной системы оценки техногенного риска и оптимизация мер безопасности на опасных производственных объектах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2001, 202с.
10. Акимов В.А., Радаев Н.Н. Методический аппарат исследования природного и техногенного рисков. // Безопасность жизнедеятельности. 2001, №2, с.с.34-38.
11. Меньшиков В.В. и др. Safety management at the Industrial Enterprises. Training course ITL. 02. Project COWI LTD (Denmark). CD – электронное издание на русском языке. М.: TASIS, 2002.
12. Lowe D.R.T., Solomon C.H. Hazard Identification Procedures. I. Chem E. Loss Prevention Bulletin, №52 August, 1983.

Вопросы и задачи к разделу 2

1. Эволюция концепции безопасности от «нулевого» риска к «приемлемому» риску.
2. Последствия техногенных происшествий.
3. Основные факторы аварийности.
4. Классификация факторов опасности.
5. Какие условия необходимы для реализации опасности.
6. Назовите 2-3 примера классификации опасности.
7. Результаты, получаемые при идентификации опасности.
8. Подходы к выбору метода идентификации опасности.

3. БЕЗОПАСНОСТЬ И РИСК

3.1. Основные положения теории риска

Специалисты различных отраслей промышленности в своих сообщениях и докладах постоянно оперируют не только определением «опасность», но и таким термином как «риск».

Категории «опасность» и «риск» отражают разнообразные связи, взаимоотношения и противоречия между природой, обществом и техникой, а также внутри этих систем. Отдельные составляющие и смешанные образования этих систем могут быть как источниками, так и объектами опасных воздействий и негативных эффектов (явлений) природного, социального и техногенного происхождения.

Опасность является вероятностной категорией, которая может меняться в пространстве и во времени. Под характеристикой опасности, связанной с конкретным событием следует понимать вероятность проявления этого события в данном месте и в заданное время. Если опасность проявляется в определенных обстоятельствах при осуществлении совокупности некоторых событий H_1, H_2, \dots, H_n , тогда ее вероятность может быть выражена с помощью формулы полной вероятности

$$P = \sum P(G | H_i) \cdot P(H_i)$$

где $P(G | H_i)$ условная вероятность опасности G , $P(H_i)$ - вероятность этого события.

Риск, в отличие от опасности, нельзя рассматривать в отрыве от возможных последствий проявления данной опасности.

Анализ толкования концептуального смысла понятия "риск" логически делает целесообразным соотнесение понятий "риск", "опасность" и "уязвимость".

Представляется, что категория "риск" является производной не только от понятия "опасность" (что неоднократно подчеркивалось многими исследователями), но и понятия "уязвимость". Оно характеризует утрату объектом (субъектом) устойчивости (защищенности) к оказываемому на него неблагоприятному воздействию.

Риск для конкретного объекта (субъекта) возникает только при наличии опасности. Она предполагает, во-первых, существование

источника опасности, либо внешнего, либо внутреннего по отношению к данному объекту, либо их комбинации; во-вторых, его воздействие на данный объект или подверженность последнего указанному воздействию; в-третьих, недостаточную защищенность или уязвимость этого объекта к такому воздействию. Аналогичным образом риск определенного действия (рискованность решения) появляется только в том случае, если имеется опасность нанесения вреда (ущерба) для субъекта или объекта реализации решения. Таким образом, наличие опасности и уязвимости оказывается необходимым и достаточным условием возникновения риска (рис. 3.1.1) [1].

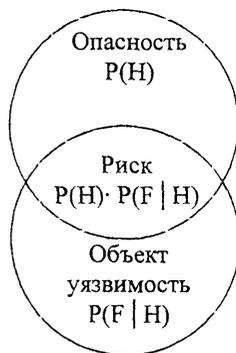


Рис. 3.1.1. Схема формирования риска от внешней опасности.

Приведенная выше трактовка категории "**риск**" позволяет также проследить ее взаимосвязь с другими понятиями, имеющими исключительно важное значение для проблемы оценки и управления риском, а именно: "**чрезвычайная ситуация**", "**бедствие**" и "**катастрофа**". Все явления или обстоятельства, раскрываемые этими понятиями, представляют собой реализацию (материализацию) риска в ситуациях, когда сила разрушительного воздействия сил первичной или видоизмененной (в результате антропогенного влияния) природы на людей и объекты экономики превышает имеющиеся ресурсы их защиты, а сами объекты указанного воздействия становятся, таким образом, особенно уязвимыми. [1].

Риск – количественная мера опасности с учетом ее последствий. Последствия проявления опасности всегда приносят ущерб, который

может быть экономическим, социальным, экологическим и т.д. Следовательно, оценка риска должна быть связана с оценкой ущерба. Чем больше ожидаемый ущерб, тем значительнее риск. Кроме того, риск будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности. Поэтому риск (R) с некоторым упрощением может быть определен как произведение вероятности опасности рассматриваемого события или процесса (P) на магнитуду ожидаемого ущерба (W):

$$R = \{P \cdot W\}$$

Таким образом, понятие "**риск**" объединяет два понятия "вероятность опасности" и "ущерб" с учетом неопределенности в величинах вероятности и ущерба для окружающей среды.

Растущие масштабы человеческой активности, сложность проблем окружающей среды и экологических систем, недостаток знания о взаимосвязях этих систем – все это придает особое значение вопросам неопределенности, ключ к которым – осторожный подход.

Глобальное потепление можно представить в качестве примера неопределенности. В прошлом парниковый эффект выбросов CO_2 был неизвестен и непознан как риск. В настоящее время имеется еще значительная неопределенность в знаниях о будущем влиянии глобального потепления, но предположения этого потепления и его последствия уже высказываются. Эти последствия требуют огромного внимания к выбросам в атмосферу CO_2 .

Риск является статистической оценочной категорией, представляющей собой векторную многокомпонентную величину:

$$R_{ec} = \{S, P_s, W\}$$

где S - описание сценариев, P_s - вероятность реализации опасности, W - ущерб (потери).

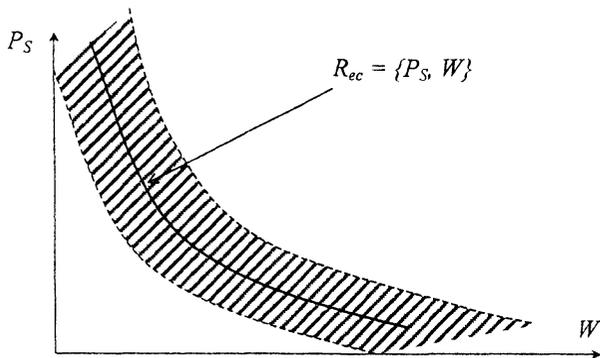


Рис.3.1.2. Графическое представление величины риска [2, 3].

В силу общепринятой классификации по степени значимости риска для человека его делят на индивидуальный (популяционный) и социальный риски. **Индивидуальный риск** характеризует распределение опасности по территории возможного нахождения индивидуума. **Социальный риск** отражает масштаб катастрофичности при реализации этой опасности. Вероятность гибели людей, определенную с учетом только факторов независящих от человека будем называть **потенциальным риском** [4].

Все эти определения, как отмечает в своей статье О. Ренн, могут быть перефразированы в виде трех вопросов [5]:

1. Что является нежелательным последствием и кто определяет, что означает «нежелательность»?
2. Каким образом можно определить качественно или количественно возможность нежелательных последствий?
3. Как объединить различные классы нежелательных последствий в единую концепцию, которая позволяла бы проводить сравнение и устанавливать приоритеты?

В данном пособии эти три вопроса есть круг рассматриваемых отрицательных эффектов, осмысление неопределенностей и, правила

объединения частей для практических целей, обсуждения современного состояния и будущих перспектив.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенной жертве – объекту риска. Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать **индивидуальный, технический, экологический, социальный и экономический** риски [6]. Каждый вид его обуславливают характерные источники и факторы риска, классификация и характеристика которого приведены в табл. 3.1.1.

Ниже приводятся описание и характеристика рисков по классификации авторов пособия [6].

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

$$R_{и} = \frac{P(t)}{L(f)}$$

где: $R_{и}$ – индивидуальный риск;

P – число пострадавших (погибших) в единицу времени t от определенного фактора риска f ;

L – число людей, подверженных соответствующему фактору риска f в единицу времени t .

Таблица 3.1.1

Классификация и характеристика видов риска

<i>Вид риска</i>	<i>Объект риска</i>	<i>Источник риска</i>	<i>Нежелательное событие</i>
Индивидуальный	Человек	Условия жизнедеятельности человека	Заболевание, травма, инвалидность, смерть
Технический	Технические системы и объекты	Техническое несовершенство, нарушение правил эксплуатации	Авария, взрыв, катастрофа, пожар, разрушение

		технических систем и объектов	
Экологический	Экологические системы	Антропогенное вмешательство в природную среду, техногенные чрезвычайные ситуации	Антропогенные экологические катастрофы, стихийные бедствия
Социальный	Социальные группы	Чрезвычайная ситуация, снижение качества жизни	Групповые травмы, заболевания, гибель людей, рост смертности
Экономический	Материальные ресурсы	Повышенная опасность производства или природной среды	Увеличение затрат на безопасность, ущерб от недостаточной защищенности

Источники и факторы индивидуального риска приведены в табл. 3.1.2.

Индивидуальный риск может быть добровольным, если он обусловлен деятельностью человека на добровольной основе, и вынужденным, если человек подвергается риску в составе части общества (например, проживание в экологически неблагоприятных регионах, вблизи источников повышенной опасности).

Технический риск — комплексный показатель надежности элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений:

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

где: R_T – 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 и факторы технического риска приведены в табл. 3.1.3.

Таблица 3.1.2

Источники и факторы индивидуального риска

<i>Источник индивидуального риска</i>	<i>Наиболее распространенный фактор риска смерти</i>
Внутренняя среда организма человека	Наследственно-генетические, психосоматические заболевания, старение
Виктимность	Совокупность личностных качеств человека как жертвы потенциальных опасностей
Привычки	Курение, употребление алкоголя, наркотиков, иррациональное питание
Социальная экология	Некачественные воздух, вода, продукты питания; вирусные инфекции, бытовые травмы, пожары
Профессиональная деятельность	Опасные и вредные производственные факторы
Транспортные сообщения	Аварии и катастрофы транспортных средств, их столкновения с человеком
Непрофессиональная деятельность	Опасности, обусловленные любительским спортом, туризмом, другими увлечениями
Социальная среда	Вооруженный конфликт, преступление, суицид, убийство
Окружающая природная среда	Землетрясение, извержение вулкана, наводнение, оползни, ураган и другие стихийные бедствия

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.

Таблица 3.1.3

Источники и факторы технического риска

<i>Источник технического риска</i>	<i>Наиболее распространенные факторы технического риска</i>
Низкий уровень научно-исследовательских работ	Ошибочный выбор направлений развития техники и технологии по критериям безопасности
Низкий уровень опытно-конструкторских работ	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.
Опытное производство новой техники	Некачественная доводка конструкций, технологии, документации по критериям безопасности
Серийный выпуск небезопасной техники	Отклонение 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.
Нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем	Использование техники не по назначению. Нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации. Несвоевременные профилактические осмотры и ремонты. Нарушение требований транспортирования и хранения
Ошибки персонала	Слабые навыки действия в сложной ситуации. Неумение оценивать информацию о состоянии процесса. Слабое знание сущности происходящего процесса. Отсутствие самообладания в условиях стресса. Недисциплинированность

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:

$$R_C = \frac{1000 \cdot (C_2 - C_1)}{L} \cdot (t)$$

где

R_C – социальный риск;

C_1 – число умерших в единицу времени t (смертность) в исследуемой группе в начале периода наблюдения, например 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.

Источники и наиболее распространенные факторы социального риска приведены в табл. 3.1.4.

Источники и факторы социального риска

<i>Источник социального риска</i>	<i>Наиболее распространенные факторы социального риска</i>
Урбанизация экологически неустойчивых территорий	Поселение людей в зонах возможного затопления, образования оползней, селей, ландшафтных пожаров, извержения вулканов, повышенной сейсмичности региона
Промышленные технологии и объекты повышенной опасности	Аварии на АЭС, ТЭС, химических комбинатах, продуктопроводах и т. п. Транспортные катастрофы. Техногенное загрязнение окружающей среды
Социальные и военные конфликты	Боевые действия. Применение оружия массового поражения
Эпидемии	Распространение вирусных инфекций
Снижение качества жизни	Безработица, голод, нищета. Ухудшение медицинского обслуживания. Низкое качество продуктов питания. Неудовлетворительные жилищно-бытовые условия

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

3.2. Оценка риска технологий и управление риском

Ранее уже отмечалось, что **анализ риска** как относительно самостоятельная область исследований, а также комплексная процедура, метод **оценки риска** технологий и **управления риском** соединяет в себе черты оценок технологии и воздействия на окружающую среду (проектной экологической экспертизы) и что появился он относительно недавно. Тем не менее, за прошедшие 10-15 лет сформировались достаточно четкие структурные элементы и методы анализа риска, а

также направления его, что связано с дальнейшей дифференциацией сфер приложения анализа риска: оценкой риска новых технологий (биотехнологии, лазерной технологии и т.д.), кумулятивного и суммационного эффектов воздействия токсичных веществ на здоровье людей и экосистемы и т.п.

В самом общем, виде можно выделить три таких направления, связанных с предметом **системного анализа**: 1) безопасность (надежность) технологических систем, включая аварийные ситуации; 2) воздействие токсичного загрязнения на здоровье человека и окружающую среду, в том числе медико-экологические последствия аварий и катастроф; 3) восприятие риска людьми (экспертами и рядовыми гражданами, общественностью). Перечисленные направления в какой-то мере также отражают, с одной стороны, причинно-следственную цепь событий в развитии технологических катастроф (подробнее об этом. см. главу 5) ситуации; с другой, – эволюцию подходов к анализу риска, исследования в области которого и процедуры которого вначале разрабатывались применительно к инженерным и медицинским аспектам технологического развития, а с недавних пор – и к социально-психологическим аспектам проблемы.

Управление риском – процедуры и практические меры в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среды.

Общим в оценке риска и управлением риском является то, что они – два аспекта, две стадии процесса принятия решения, основанного на характеристике риска.

Оценка риска служит основой для исследования и выработки мер управления риском. Традиционный подход безопасности при эксплуатации технических систем и технологий базируется на концепции «абсолютная безопасность», то есть внедрении всех мер защиты, которые практически осуществимы. Как показывает практика, такая концепция не адекватна законам техносферы. Современный мир отверг концепцию «абсолютной безопасности» и пришел к концепции «приемлемого риска». Решение о том, какой **уровень риска** считать **приемлемым**, а какой нет, носит не технический, а социально-политический характер и во многом определяется экономическими возможностями страны.

При разработке проблем риска и обеспечении безопасности технических систем самое пристальное внимание уделяется системному подходу к учету и изучению разнообразных факторов, влияющих на показатели риска, именуемому оценкой риска. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний.

Существует четыре разных подхода к оценке риска [6]:

- Инженерный – опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности (ВАБ);
- Модельный – через построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду;
- Экспертный – через опрос опытных экспертов;
- Социологический – исследуется отношение населения к различным видам риска.

Имеется много неопределенностей, связанных с оценкой риска. **Анализ неопределенностей** – необходимая составная часть оценки риска.

3.3. Обзор существующих методов оценки риска и безопасности [7-8]

В настоящее время теория риска находит широкое применение в различных отраслях нефтегазовой, химической промышленности, на транспорте, где она используется при концептуальном проектировании, размещении, официальном одобрении, проектировании потенциально-опасных объектов и пересмотре допустимого уровня безопасности их эксплуатации.

Безопасность – свойство человеко-машинных систем сохранять при функционировании в заданных условиях такое состояние, при котором с высокой вероятностью исключаются происшествия, а ущерб от непрерывных энергетических и материальных выбросов не превышает допустимого.

Понятие количественного неэкономического ущерба официально не признавалось и получило права гражданства в России только в последнее десятилетие, когда исследования по этой тематике получили государственный статус. Общегосударственными проблемами

безопасности занимается Совет Безопасности РФ. Существует федеральная целевая научно-техническая подпрограмма «Безопасность» – проведения фундаментальных и прикладных исследований по всем основным аспектам безопасности разнообразных систем жизнеобеспечения, сооружений, конструкций и машин, осуществляемая под общим руководством Минпромнауки и РАН. Отдельными аспектами проблемы безопасности занимаются научно-исследовательские, проектные и производственные организации Минобороны, Минатома, МЧС, Газпром, РАО ЕЭС, МПС, Транснефть, Роснефтегазстрой, вузы страны и отраслевые НИИ.

К настоящему времени появился ряд документов Правительства РФ и федеральных органов власти, в которых заложены законодательные и нормативные основы обеспечения безопасности сложных потенциально-опасных объектов. Проводятся исследования в области создания нормативной базы обеспечения анализа риска, проведен анализ структуры природного и техногенного риска, разработаны экспертные системы и системы оптимизации мониторинга различных объектов, основанные на минимизации риска их эксплуатации, а также работы по экологической безопасности и оценке экологических последствий крупных аварий на нефтепроводах.

Общегосударственные нормативные документы практически всех промышленно развитых стран предписывают необходимость проведения анализа риска, но не требуют строгого следования определенным методам анализа риска, оставляя за предпринимателями-владельцами производств право создания своих нормативов, которые, однако, должны учитывать общие требования общегосударственных стандартов. В большинстве зарубежных документов, посвященных применению анализа риска, разрешается на усмотрение предпринимателя использовать один или несколько из следующих методов анализа опасности и риска: «что будет, если? (What – If)»; проверочный лист (Check list); комбинацию этих двух методов; анализ опасности и работоспособности (HAZOP – Hazard and Operability Study); анализ видов и последствий отказов (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis); количественный анализ вида, последствий и критичности отказа (FMEDA – Failure Mode and Event Criticality Analysis); анализ дерева отказов (FTA – Fault Tree Analysis); анализ дерева событий (ETA – Event Tree Analysis); анализ слоев безопасности (защиты) (SLA– Safety Layers Analysis) и, наконец, полный количественный анализ риска (QRA —

Quantitative Risk Analysis), Из всех перечисленных только QRA является чисто количественным методом, FMECA, HAZOP, FTA и ETA являются таковыми только частично. Собственник (предприниматель) свободен в выборе метода анализа риска, однако при этом выбранный им метод должен быть научно обоснован (повторяем и проверяем), соответствовать рассматриваемой системе, давать прозрачные, легко понимаемые результаты и позволять создавать системы управления риском.

Количественный анализ риска (КАР) — это метод определения показателя эксплуатационных возможностей относительно данного уровня безопасности или заданной цели. Он сначала был разработан как инструмент для оценки крупномасштабных аварий, которые по своей природе достаточно редки и потому частота их возникновения и последствия не могут быть определены на основании одних лишь статистических методов. Этот метод в настоящее время широко используется в ядерной и химической промышленности США и Европы, являясь наиболее универсальным и исчерпывающим видом оценки безопасности. В России метод КАР в наиболее развитом виде применяется в ядерной энергетике и известен как ВАБ – вероятностный анализ безопасности [8].

Метод КАР рассматривает все возможные случаи или аварии из-за какой-либо деятельности и оценивает вероятность или частоту каждого такого события и связанные с ними последствия через количество несчастных случаев. Полученная информация затем может быть суммирована и представлена в удобном виде. Классическая схема количественной оценки рисков представлена на рис. 3.3.1.

В данном пособии подробно в разделе 5 будет рассмотрен только КАР как основной, наиболее перспективный и точный метод обеспечения безопасности больших систем.



Рис. 3.3.1. Схема количественной оценки риска

3.4 Показатели безопасности

3.4.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ОБЪЕКТА

Уровень (меру количественной оценки) безопасности можно выразить специальными показателями. Однако довольно трудно ввести такие показатели, которые были бы естественными, интуитивно понятными и безоговорочно принимались специалистами.

Для того чтобы ввести показатели безопасности технических объектов, предлагается следующая схема рассуждений. Разобьем все аварийные состояния, в которых может находиться объект, на две группы. В первую включим те состояния, при которых не возникает угрозы для людей и окружающей среды, а во вторую – те, в которых такая угроза возникает. Состояния второй группы называются отказами по безопасности. Как и любые отказы, отказы по безопасности являются случайными событиями, а их длительность и последствия могут быть охарактеризованы случайными величинами. Все те числовые характеристики, которые введены в теории вероятностей для случайных событий и величин, можно использовать в качестве показателей безопасности. Рассмотрим их на конкретном примере [8].

Например, разрывы магистральных трубопроводов являются отказами, влекущими за собой (или способными повлечь) тяжелые последствия, то есть отказами по безопасности. Наиболее часто употребляются следующие показатели: вероятность безотказной работы, среднее время безотказной работы и параметр потока отказов [12].

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что за рассматриваемый промежуток времени t отказ не возникает

$$R(t) = P\{\xi \leq t\}$$

Здесь ξ – время между двумя последовательными отказами, а $P\{\bullet\}$ – вероятность события $\{\bullet\}$.

Среднее время безотказной работы — математическое ожидание

$$T = M_{\xi} = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Наиболее часто для характеристики линейной части трубопровода используется *удельный* (на единицу длины) *параметр потока отказов* w , который называют также *удельной интенсивностью отказов*, или *частотой отказов*. Для оценки параметра подсчитывают общее число отказов за год N и делят на суммарную длину L трубопроводов в 1000 км

$$w = N/L(1/\text{тыс.км} \cdot \text{год})$$

Учитывая, что для трубопроводных систем среднее время безотказной работы T много больше среднего времени ремонта, $w(t)$ можно выразить через вероятность безотказной работы

$$w(t) \approx -\frac{1}{L} \frac{d}{dt} \ln R(t)$$

3.4.2 УЩЕРБ

Для измерения последствий отказов по безопасности могут быть использованы ущербы. Обозначим через η материальный ущерб вследствие одного отказа (выраженный, например, в денежном эквиваленте), через η_1 – количество отказов в год t , через T – срок жизни объекта. Тогда **средний удельный (на один отказ) ущерб** равен:

$$Y_1 = M\eta$$

а средний ущерб (за весь жизненный цикл)

$$Y = \sum_{i=1}^T M\eta_i M\eta_i$$

Однако при исследовании безопасности трубопроводных систем пользоваться понятием ущерба надо с большой осторожностью. Количественное определение ущерба встречает серьезные трудности. Оценка вероятности угроз не может базироваться на статистическом материале из-за того, что наиболее существенные угрозы редко проявляются. Собственно ущербы при реализации каждой угрозы также не могут быть получены с приемлемой степенью достоверности по нескольким причинам:

- масштабы разрушений, количество жертв и другие негативные проявления зависят от множества случайных факторов: места, времени, погодных условий и т.д.,
- помимо прямого ущерба, как правило, возникают также косвенные ущербы не только в экономической, но также в социальной и экологической сфере,
- социальные и экологические ущербы трудно свести к денежному эквиваленту.

При этом необходимо учитывать, что совокупность экономического и социального ущерба не является чисто арифметической, а представляет собой системное объединение и потому может оказаться значительно больше простой суммы. Например, нарушение экологического равновесия в экосистемах высокого иерархического уровня может вызвать учащение стихийных бедствий, которые приведут к материальным потерям, в свою очередь отражающимся на социальном развитии, а снижение темпов последнего, ведя к недостаточности информации, в том числе об окружающей среде, вновь повлечет за собой негативные последствия в материальной и экологической сферах.

Следует различать **прямой** и **косвенный ущерб**. **Прямой ущерб** возникает от непосредственного разрушения материальных ценностей, ухудшения условий ведения сельского хозяйства, неблагоприятного воздействия на здоровье человека и состояние природной среды техногенных и экологических факторов (аварий, стихийных бедствий и катастроф и т. п.). Этот прямой ущерб может возрасти в результате косвенных причин, связанных с его отрицательным воздействием на

производительные силы общества или техногенными цепными реакциями, идущими непосредственно в природной среде и обусловленными межкомпонентными и межэлементными ландшафтными связями.

Наконец, при **оценке ущерба** необходимо учесть и **фактор времени**. Так, помимо ущерба, появляющегося в момент воздействия того или иного опасного фактора, возможен также и отложенный (латентный) ущерб, проявляющийся лишь со временем, особенно часто при воздействии на здоровье человека и природные экосистемы, (например, при воздействии малых доз радиационного облучения). Кроме того, многие виды хозяйственной деятельности сопровождаются нанесением ущерба в течение всего периода ее осуществления (например, загрязнение окружающей среды в процессе эксплуатации промышленных объектов). В некоторых случаях ущерб продолжает иметь место и после прекращения того или иного вида хозяйственной деятельности (например, в следствие эрозии и засоления почв). Наконец, во всех этих случаях ущерб окружающей среде необходимо рассматривать в пределах обусловленного времени: он может быть не ощутим в течение короткого периода и стать даже катастрофическим по прошествии продолжительного срока. Таким образом, главной причиной интереса к фактору времени в данном случае является то, что оценка величины или значимости конкретного ущерба сильно зависит от того, когда он проявляется. Это очевидно прежде всего в отношении экономического ущерба. Понятно, что затраты в 10 млн. руб., которые необходимо сделать завтра, менее желательны, чем такие же затраты через несколько лет. Далее, не вдаваясь в моральную сторону дела, авария, повлекшая гибель 5 человек, представляется менее трагичной, если она произойдет в более отдаленном будущем, а не в ближайшее время. Одним из методов, который можно использовать при оценке величины ущерба с учетом фактора времени, является метод дисконтирования [9].

3.4.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

Формально обоснование мероприятий по обеспечению безопасности можно провести, основываясь на экономических критериях. Для объяснения идеи предположим, что затраты S на реализацию мероприятий зависят от некоторого показателя x , возрастающая вместе с этим показателем. С другой стороны, чем выше показатель x , тем меньше ожидаемый ущерб $Y(x)$. Можно себе представлять, что x (объёмы реконструкции (в физическом измерении), направленной на повышение безопасности системы трубопроводов. Ситуация иллюстрируется рис. 3.4.1. Казалось бы, соразмеряя затраты и ущерб, целесообразно исходить из критерия наименьших суммарных потерь:

$$S(x) + Y(x) \rightarrow \min \quad (A)$$

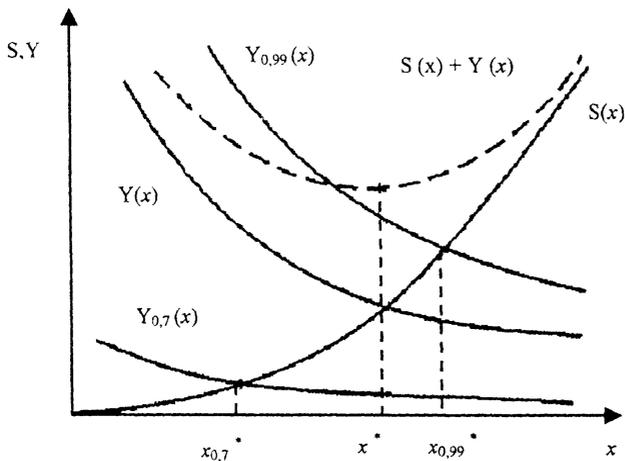


Рис. 3.4.1. Схема минимизации затрат и ущерба

Решение задачи (A) даёт оптимальное значение параметра $x = x^*$. Ожидаемый ущерб (математическое ожидание ущерба) является функцией детерминированной. Однако ущерб η – случайная величина. Причем для трубопроводных систем, таких как единая система газоснабжения или единая система нефтеснабжения, характерны маловероятные отказы, которые чреваты катастрофическими

последствиями (достаточно вспомнить катастрофу на железнодорожной ветке между Уфой и Челябинском). Однако вероятность катастроф мала, и очень трудно дать достоверную оценку как вероятности события, так и экономических потерь при его осуществлении.

При фиксированном значении x ущерб $\eta = h(x)$ является, как уже говорилось, случайной величиной. Обозначим $Y_p(x)$ – квантиль этой величины, отвечающей вероятности p

$$P\{\eta(x) \leq Y_p(x)\} = p$$

Возможный вид кривых $Y_p(x)$ для $p = 0,7$ и $p = 0,99$ показан на рис. 3.4.1. Рисунок отражает реальную ситуацию. Высока вероятность событий, состоящих в том, что за весь срок существования объекта ущербы будут относительно небольшими. В условиях финансового дефицита возникает желание уклониться от затрат, которые могут оказаться невостребованными. Если ориентироваться не на средние значения ущерба, а на те, которые отвечают вероятности $p = 0,7$, можно снизить как значения показателя x (до уровня $x - x_{0,7}$), так и затраты $S(x)$ на обеспечение этого показателя. К тому же можно утверждать, что с вероятностью 0,7 значение $x - x_{0,7}$ окажется достаточным. Если же стремиться к более высокому уровню гарантии (например, $p = 0,99$), то и затраты должны быть увеличены.

Использование критерия (А) с ожидаемым ущербом $Y(x)$ не всегда является естественным. Представим себе, что все угрозы безопасности делятся на две категории. Те, которые относятся к первой категории, имеют вероятность p' и могут быть предупреждены некоторым комплексом мероприятий. А остальные угрозы, вероятность проявления которых равна $1-p'$, не могут быть устранены в принципе (например, это стихийные катаклизмы). Ясно, что при решении вопроса о финансировании мероприятий по повышению безопасности необходимо принимать во внимание только угрозы первой категории и соразмерять затраты на техническое и технологическое совершенствование объектов и ущербы от реализации событий первой категории. В этом случае ожидаемый ущерб в формуле (А) целесообразно заменить условным ожидаемым ущербом при условии, что имеют место события первой категории. Можно также функцию $Y(x)$ заменить на $Y_p(x)$, то есть от задачи А) перейти к задаче

$$S(x) + Y_p(x) \rightarrow \min \quad (\text{Б})$$

причем величину p следует определить экспертно, заботясь о соблюдении неравенства $p \leq p'$.

Затраты на обеспечение безопасности не дают непосредственного эффекта в виде прибыли, а лишь уменьшают возможные ущербы. Для того, чтобы предприятие было заинтересовано в реализации мероприятий, способствующих повышению безопасности, необходимо разработать меры государственного регулирования.

Кроме того, можно ожидать, что дальнейшее развитие социального и экологического страхования позволит найти и нормативно закрепить более обоснованные значения денежных эквивалентов ущербов с учетом экологической и социальной составляющих.

3.4.4. РИСК КАК ПОКАЗАТЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ

Уровень, количественную меру безопасности часто характеризуют показателями, которые называют *рисками*.

Переходя от категории «ущерб» к категории «риск», отметим, что определение его количественных показателей представляет собой процесс оценки цифровых значений вероятности и последствий возможных нежелательных событий. При этом, как уже излагалось выше, недостоверности получаемых оценок следует подходить осторожно, принимая во внимание, как обязательное условие, оценку Неопределенностей при определении вероятности и ущерба. Исходя из этих соображений, неопределенность следует рассматривать как одну из компонент "вектора", используемого для количественного измерения риска.

Использование количественных оценок риска в практической деятельности (например, в законодательной деятельности [11] или при принятии тех или иных решений с учетом факторов риска [11] показало необходимость применения классификации риска по степени его значимости для человека и окружающей среды. Трудность состоит в том, что невозможно выразить риск через один обобщенный показатель, учитывающий различные стороны его значимости. Ожидаемое число жертв за год, вероятность для индивидуума стать жертвой той или иной технологии в течение какого-то промежутка времени, вероятность опасных последствий для определенных групп людей (например, для обслуживающего персонала или для тех или иных групп населения), вероятность аварий с одновременным большим числом жертв и другие показатели характеризуют по разному ситуацию и по-разному должны

приниматься во внимание при принятии решений с учетом факторов риска. В силу этого общепринятой классификацией по степени значимости риска для человека является деление его на **индивидуальный и социальный риски**.

В качестве количественной меры **индивидуального риска** выбирают отношение количества пострадавших к количеству подвергшихся потенциальной опасности. Индивидуальный риск от авткатастроф оценивается по формуле n/N , где n – число людей, погибших в авткатастрофах за год, N – число жителей страны (считается, что все жители пользуются автомобильным транспортом). В США в 70-е годы риск смертельного исхода при пользовании автомобилем был равен $2,5 \times 10^{-4}$ смертей/чел.×год. Из опросов населения установлено, что психология современного человека не позволяет ему мириться с уровнем риска 10^{-3} . При уровне 10^{-4} люди готовы тратить деньги на уменьшение риска. Риск 10^{-5} признается приемлемым, а случаями с вероятностью 10^{-6} обычный человек пренебрегает [8,11].

В качестве примера использования понятия риска в значении ущерб в натуральном измерении обратимся еще раз к характеристике безопасности трубопроводного объекта, состоящего из нескольких секций, как к совокупной мере ущерба $R = P \times M$ [8] Величина P характеризует вероятность утечек (т.е. техническое состояние системы), а M – последствия отказа. Вероятность P_i для i -й секции определяется как взвешенная сумма по факторам

$$P_i = \sum_k P_{ik} W_k$$

Рассмотрим (по G. Mayer) [13] следующий типовой перечень факторов (и их весов), определяющих возможные отказы секции: 1 – возраст, $w_1 = 15\%$; 2 – рабочее давление, $w_2 = 5\%$; 3 – диаметр, толщина стенки, $w_3 = 5\%$; 4 – материал, спецификация, $w_4 = 10\%$; 5 – тип сварки, $w_5 = 10\%$; 6 – положение секции в системе, $w_6 = 10\%$; 7 – тип продольного шва, $w_7 = 10\%$; 8 – катодная защита, характеристика грунта, $w_8 = 5\%$; 9 – гидравлические испытания на прочность, $w_9 = 5\%$; 10 – изоляционное покрытие, $w_{10} = 10\%$; 11 – наличие и интенсивность утечек, $w_{11} = 15\%$. Величины P_{ik} находятся с помощью специальных процедур.

Расчет вероятных последствий производится аналогично

$$M_i = \sum_k M_{ik} W_k$$

Предлагается следующий типовой перечень факторов (и их весов), определяющих тяжесть последствий от аварий: 1 – плотность населения, $w_1 = 40\%$; 2 – тип строений и расстояние до них, $w_2 = 30\%$; 3 – вид транспортируемого продукта, $w_3 = 30\%$. Таким образом, процесс вычислений нормирован, определение некоторых компонент должно опираться на статистическую и экспертную информацию.

ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 3

1. Рагозин А.Л. Общие закономерности формирования и количественная оценка природных рисков на территории России. // Вопросы анализа риска. 1999, №2-4
2. Азиев Р.Г., Кузьмин И.И., Меньшиков В.В. Количественный подход к оценке безопасности. / Научное издание под ред. В.Е. Соколова, В.С. Петросяна. М.: изд-во МГУ, 1989.
3. Меньшиков В.В. Концептуальные основы оценки экологического риска. Учеб. пособие. – М.: изд-во МНЭПУ, 2001, 44с.
4. Сафонов В.С., Одишария Г.Э, Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. М.: Изд-во НУМЦ Минприроды России, 1996, 208с.
5. Ренн О. Три десятилетия исследования риска: достижения и новые горизонты. Вопросы анализа риска, 1999, т.1, с.80-99
6. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАОФИД «Деловой экспресс», 2002, 368с.
7. Порфирьев Б.Н. Экологическая экспертиза и риск технологий. // Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1990, том 27, 204с.
8. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность трубопроводного транспорта. М.: МГФ «Знание», 2002, 752с.
9. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Словарь терминов и определений. Изд. 2-е. доп. М.: МГФ «Знание», 1999, 361с.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Основопологающие государственные документы. Ч. 1-2. Изд. 2-е. доп. М.: МГФ «Знание», 1998, ч.1 512с., ч.2 350с.
11. Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та экономики и финансов. 1997, 164с.
12. Бондарь В.А., Попов Ю.П. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений. // Безопасность труда в промышленности, 1997, №10, с.39-42.

13. Mayer G., van Dyke H.J., Myriek C. Risk analysis determines priorities among pipe-replacement projects. Oil and Gas Journal, 1987, v.85, No38, pp.100, 102, 104

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ К РАЗДЕЛУ 3

1. Схема количественной оценки риска.
2. Понятия прямого и косвенного ущерба.
3. Схема минимизации затрат и ущерба.
4. Классификация риска по степени значимости для человека.
5. Формирование риска от внешней опасности.
6. Методы анализа риска и опасности.
7. Классификация рисков по соотношению объектов риска и нежелательных последствий.