

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 280102

КОСТИКОВ В.А.

МОСКВА 2008

СОДЕРЖАНИЕ

1. КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКОВ

1.1 Понятие риска

1.2 Основы методологии анализа и управления риском

1.3 Оценка риска

1.4 Управление риском

1.4.1 Общность и различие процедур оценки и управления риском

1.5 Количественные показатели риска

1.6 Приемлемый риск

1.6.1 Сравнение риска

1.7. Развитие риска на технических объектах

1.8 Моделирование риска

2. ОСНОВЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

2.1. Основные определения теории надежности.

2.2 Показатели надежности

2.3 Математические модели безопасности

2.4 Основы расчета надежности технических систем по надежности их элементов.

2.5 Алгоритм обеспечения эксплуатационной надежности технических систем

3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

3.1 Предварительный анализ опасностей

3.2 Методы проверочного листа (CHECK-LIST) и "что будет если ...?" ("WHAT - IF")

3.3 Дерево отказов – ДО (fault tree analysis – FTA)

3.3.1 Процедура построения, содержание анализа и структура дерева отказов.

3.4 Дерево событий - ДС (event tree analysis - ETA)

3.5 Дерево решений

3.6 Логический анализ

3.7 Контрольные карты процессов

3.8 Таблицы состояний и аварийных сочетаний

4. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

4.1 Техническая поддержка и обеспечение надежности и безопасности

4.2 Технические средства обеспечения надежности и безопасности технических систем

4.2.1 Средства предупреждения отказов

4.2.2 Средства контроля

4.2.3 Средства защиты

4.3 Организационно-управленческие мероприятия

4.4 Техническое обслуживание, ремонт и инспектирование

4.4 Управление изменениями в технологическом процессе

4.5 Обучение

4.6 Диагностика технических систем

5 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА КАК ЗВЕНА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.

5.1 Причины совершения ошибок

5.2 Методология прогнозирования ошибок

5.3 Основные принципы формирования баз данных об ошибках человека

6. ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

6.1 Классификация промышленных объектов по степени опасности

6.2 Оценка опасности промышленного объекта

6.3 Декларация безопасности опасного промышленного объекта

6.4 Система лицензирования

6.5 Экспертиза промышленной и транспортной безопасности

6.6 Ответственность производителей или предпринимателей за нарушения законодательства и нанесенный ущерб

6.7 Учет и расследование

6.8 Государственный контроль и надзор за промышленной безопасностью

6.9 Разработка планов по предотвращению происшествий и локализации их последствий.

7. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

7.1 Российское законодательство в области промышленной безопасности

7.2 Принципы оценки экономического ущерба от промышленных и транспортных происшествий.

7.2.1 Понятие ущерба и вреда.

7.2.2 Структура вреда

7.3 Экономический и экологический вред.

7.3.1 Структура полного ущерба как последствий происшествий на технических объектах

7.4 Общая структура экономического анализа техногенного риска

7.5 Принципы оценки экономического ущерба

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность является одной из наиболее социально-значимых характеристик деятельности производств, связанных с риском нанесения вреда людям, материальным ценностям, природе в ходе выполнения общественно полезных работ.

Из этого следует необходимость тщательного изучения условий возникновения такого вреда, разработки и реализации мер по его минимизации. Причем, речь идет не только о проведении специальных исследований в этом вопросе, а о формировании так называемой культуры безопасности за счет передачи накапливаемых знаний широкому кругу специалистов, осуществляющих небезопасную деятельность, формирующих нормативно-правовую и методическую основу этой деятельности, а также создании условий реализации этих знаний, неформальному включению их в технологии небезопасных работ.

Настоящее учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств», по существу является вводным курсом для изучения специальных дисциплин по кафедре «Безопасность полетов и жизнедеятельности», таких как «Безопасность полетов», «Авиационная безопасность», «Экология», «Правоведение», «Расследование авиационных происшествий» и др.

Представленные в нем материалы имеют целью познакомить студентов с существующей концепцией управления безопасностью общественно полезных производств на основе оценки рисков этой деятельности, представить сложившиеся методические приемы исследования рисков, порожденных отказами технических систем, показать роль человеческого фактора в природе техногенных катастроф. Важное место в представленном материале занимает рассмотрение структуры экономической оценки ущерба, вызванного нарушением безопасности, как эффективного механизма стимулирования работ по обеспечению безопасности.

Теоретические основы надежности включены в учебное пособие в том объеме, в котором они могут оказаться полезными при рассмотрении проблем управления безопасностью сложных человеко-машинных систем.

1.КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКОВ.

1.1 Понятие риска

В практике встречаются различные трактовки термина "риск". Например, риск в страховой деятельности используется для обозначения предмета страхования (воздушного судна или жизни пассажиров), страховой суммы (ущерба в денежном выражении) или же как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий. Экономисты и статисты понимают риск как меру вероятности последствий, которые могут проявиться в будущем. В психологическом словаре риск трактуется как действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности, угрозой потери, неуспеха. Возможно определение риска как характеристики деятельности, свидетельствующей о неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха, либо как меры неблагоприятия при неуспехе в деятельности, определяемой сочетанием вероятности и величины неблагоприятных последствий. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состоянии) производства или окружающей человека среды.

Общим во всех приведенных определениях является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние.

В соответствии с современными взглядами риск обычно понимается как вероятностная мера возникновения опасных техногенных или природных явлений, а также характеристика размера нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

Иными словами под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин.

Применение понятия риск позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск, фактически, есть мера опасности. Часто используемое понятие "степень риска" (Level of risk), по сути, не отличается от понятия риск, но лишь подчеркивает, что речь идет об измеряемой величине.

Все перечисленные (или подобные) интерпретации термина "риск" используются в настоящее время при анализе опасностей и управлении безопасностью (риском) технологических процессов.

Возникновение опасных ситуаций является результатом проявления определенной совокупности факторов риска, порождаемых теми или иными источниками, обстоятельствами, условиями.

Применительно к проблеме безопасности деятельности ГА такими событиями могут быть: ухудшение под воздействием неблагоприятных факторов полета здоровья или смерть человека (пользователя услуг воздушного транспорта), значительные повреждения или разрушение воздушного судна, загрязнения или разрушение экологической системы, вызванные факторами деятельности ГА, материальный ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличение затрат на безопасность.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенной жертве - объекту риска. Связь объектов риска и нежелательных событий позволяет различать индивидуальный, технический, экологический, социальный и экономический риск. Каждый вид риска имеет характерные источники возникновения. Классификация и характеристики рисков приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 Классификация и характеристика видов риска

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

Индивидуальный риск определяется вероятностью реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций. Его можно оценить числом событий, принесших вред жизни и здоровью людей в результате проявления определенного фактора риска:

$$R_u = P(t)/L(f)$$

где R_u - 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 .

Источники и факторы индивидуального риска приведены в табл. 1.2

Таблица 1.2 Источники и факторы индивидуального риска

Источник индивидуального риска	Наиболее распространенный фактор риска смерти
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

Индивидуальный риск может быть добровольным, если он обусловлен деятельностью человека на добровольной основе, и вынужденным, если человек подвергается риску в составе части общества (например, использование услуг потенциально опасного транспорта).

Технический риск - комплексный показатель надежности элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов:

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

где R_T - технический риск;

ΔT - число происшествий вследствие отказов техники 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. 1.3.

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 1.3 Источники и факторы технического риска

Источник технического риска	Наиболее распространенные факторы технического риска
Низкий уровень научно-исследовательских работ	Ошибочный выбор направлений развития техники и технологии по критериям безопасности
То же, 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

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

где R_o - экологический риск;

ΔO - число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени t ;

O - число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий 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 негативных социальных событий;

C_2 - смертность в той же группе людей в конце периода наблюдения;

L - общая численность исследуемой группы.

Источники и наиболее распространенные факторы социального риска приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4 Источники и факторы социального риска

Источник социального риска	Наиболее распространенные факторы социального риска
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:

$$R_{\text{э}} = \frac{B}{\Pi} \cdot 100,$$

где $R_{\text{э}}$ - экономический риск, %;

B - вред обществу от рассматриваемого вида деятельности;

Π - польза.

B в общем виде

$$B = Z_6 + Y,$$

где

Z_6 - затраты на достижение текущего уровня безопасности;

Y - ущерб, обусловленный недостаточной защищенностью человека и среды его обитания от опасностей.

Чистая польза, т.е. сумма всех выгод (в стоимостном выражении), получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности:

$$\Pi = D - Z_{\text{п}} - B > 0 \quad \text{или} \quad \Pi = D - Z_{\text{п}} - Z_6 - Y > 0,$$

где D - общий доход, получаемый от рассматриваемого вида деятельности;

$Z_{\text{п}}$ - основные производственные затраты.

Формула экономически обоснованной безопасности жизнедеятельности имеет вид

$$У < Д - (З_{п} + З_{б}).$$

В условиях хозяйственной деятельности необходим поиск оптимального соотношения затрат на безопасность и возможного ущерба от недостаточной защищенности. Найти его можно, если задаться некоторым значением реально достижимого уровня безопасности деятельности. Эту задачу можно решить оптимизационными методами.

Использование рассматриваемых видов риска позволяет выполнять поиск оптимальных решений по обеспечению безопасности, как на уровне отдельных предприятий, так и в масштабах государства. Для этого необходимо выбрать значения приемлемого риска.

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

1.2 Основы методологии анализа и управления риском

При разработке систем управления безопасностью серьезное внимание должно уделяться анализу рисков.

Анализ риска или риск-анализ (risk analysis) - процесс идентификации (выявления) опасностей и оценки риска для людей, материальных объектов, окружающей природной среды и др.

При этом под опасностью понимается источник потенциального ущерба или вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба, а под идентификацией опасности - процесс выявления ее, а также определение ее характеристик.

Анализ риска - во многом субъективный процесс, в ходе которого учитываются не только количественные показатели, но и показатели, не поддающиеся формализации, такие, как позиции и мнения различных общественных групп, возможность компромиссных решений, экспертные оценки и т.д.

Особенность анализа технологического риска заключается в том, что в ходе его рассматриваются потенциально негативные последствия, которые могут возникнуть в результате отказа в работе технических систем, сбоев в технологических процессах или ошибок со стороны эксплуатационного персонала. Это не исключает необходимости рассмотрения негативных воздействий на людей и окружающую природную среду при безотказном функционировании производства в т.ч. авиатранспортной системы (за счет наличия вредных для здоровья людей примесей в воздухе, утечки вредных или опасных веществ, неочищенных стоков, воздействия солнечной радиации и т.д.).

Результаты анализа риска имеют существенное значение для принятия обоснованных и рациональных решений при проектировании и модернизации производственных объектов и технических систем, включая воздушные суда и наземные объекты авиационной инфраструктуры, совершенствовании технологий их эксплуатации, а также программ подготовки и переподготовки персонала. В процессе анализа риска должны находить применение формализованные процедуры и учет разнообразных ситуаций, с которыми может столкнуться управляющий персонал предприятий и ГА в целом в процессе своей деятельности, и прежде всего при возникновении особых ситуаций. Методы, используемые в процессе анализа, должны быть ориентированы на выявление и оценку возможных потерь в случае появления опасных факторов, оценку стоимости обеспечения безопасности и преимуществ, получаемых при реализации того или иного проекта защиты от потенциальных угроз.

Анализ риска имеет ряд общих положений независимо от конкретной природы изучаемых факторов риска, методики анализа и специфики решаемых задач. Во-первых, общей является задача определения допустимого уровня риска, стандартов безопасности персонала, потребителей опасной продукции или услуг и защиты окружающей природной среды. Во-вторых, определение уровня риска происходит, как правило, в условиях недостаточной или неточной (непроверенной) информации, особенно когда это касается новых технологических процессов или новой техники. В-третьих, в ходе анализа обычно приходится решать вероятностные задачи, что может приводить к расхождениям в получаемых результатах. В-четвертых, анализ риска нужно рассматривать, как процесс решения многокритериальных задач, которые обычно возникают из-за необходимости нахождения компромисса между сторонами, заинтересованными в определенных результатах анализа.

Анализ риска может быть определен как процесс решения сложной задачи, требующий рассмотрения широкого круга вопросов, проведения комплексного исследования и оценки технических, экономических, управленческих, социальных, а в ряде случаев и политических факторов.

Анализ риска должен дать ответы на три основных вопроса:

1. Что угрожает безопасной деятельности? (Идентификация опасностей).
2. Как часто возникают угрозы? (Анализ частоты).
3. Какие могут быть последствия реализации выявленных угроз? (Анализ последствий).

Основной элемент анализа риска - идентификация опасности (обнаружение возможных угроз), которые могут приводить к негативным последствиям. Выраженный в наиболее общем виде процесс анализа риска может быть представлен как ряд последовательных этапов:

1. Планирование и организация работ.
2. Идентификация опасностей.
 - 2.1. Выявление опасностей.

2.2. Предварительная оценка характеристик опасностей

3. Оценка риска.

3.1. Анализ частоты.

3.2. Анализ последствий.

3.3. Анализ неопределенностей.

4. Разработка рекомендаций по управлению риском.

Первое, с чего начинается любой анализ риска, - это планирование и организация работ. На первом этапе необходимо:

- указать причины и проблемы, вызвавшие необходимость проведения риск-анализа;
- определить топологию (состав, структуру) анализируемой системы и дать ее описание;
- подобрать команду компетентных (знающих структуру системы, имеющих опыт её эксплуатации) специалистов для проведения анализа;
- установить источники информации о функционировании системы;
- указать исходные данные и ограничения (область проведения анализа), обуславливающие пределы риск-анализа;
- четко определить цели риск-анализа и критерии приемлемого риска.
- документально оформить первый этап анализа риска.

Следующий этап анализа риска - идентификация опасностей. Основная задача - выявление (на основе информации о работе объекта, результатов экспертизы и опыта работы подобных систем) и четкое описание всех присущих системе опасностей. Это ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения системы управления рисками.

Далее проводится предварительная оценка опасностей с целью выбора одного из возможных направлений работ:

- прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей;
- провести более детальный анализ риска;
- выработать рекомендации по уменьшению опасностей.

Исходные данные и результаты предварительной оценки опасностей также должным образом документируются. В принципе процесс риск-анализа может заканчиваться уже на этапе идентификации опасностей.

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

Последний этап анализа риска технологической системы - разработка рекомендаций по уменьшению уровня риска (управлению риском) осуществляется в случае, если степень риска выше приемлемой.

При проведении анализа уровня риска необходимо руководствоваться следующими принципами (или их сочетаниями):

- принцип безусловного приоритета безопасности, сохранения жизни и здоровья над любыми другими критериями качества жизни людей;
- принцип приемлемых опасности и риска, в соответствии с которым устанавливаются нижний (допустимый) и верхний (желаемый) уровни безопасности и в этом интервале — приемлемый уровень безопасности и риска с

учетом социально-экономических факторов;

- принцип минимальной опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо в конкретных социально-экономических условиях;

- принцип последовательного приближения к абсолютной безопасности.

В большинстве стран мирового сообщества в настоящее время принята концепция «приемлемого риска» (ALARA — as low as risk acceptable), позволяющая использовать принцип «предвидеть и предупредить». Эта общепризнанная концепция нашла отражение в четырех основных постулатах:

- *первый постулат* — оправданность деятельности по управлению риском, формулируется как стремление к обеспечению материальных и духовных благ при обязательном соблюдении условия: практическая деятельность не может быть оправданна, если выгода от этой деятельности в целом не превышает вызываемого ею ущерба.

- *второй постулат* — оптимизация защиты по критерию среднестатистической ожидаемой продолжительности предстоящей жизни в обществе. Оптимальным считается вариант сбалансированных затрат на продление жизни за счет снижения уровня риска и за счет выгоды, получаемой от хозяйственной деятельности.

- *третий постулат* — необходимость учета всего спектра существующих опасностей; вся информация о принимаемых решениях по управлению риском должна быть доступна широким слоям населения.

- *четвертый постулат* — учет требований о непревышении предельно допустимых экологических нагрузок на экосистемы. Он состоит в том, что обеспечение безопасности человека, живущего сегодня, следует достигать путем реализации таких решений, которые не снижают способность природы обеспечить безопасность и потребности человека будущего поколения.

1.3 Оценка риска

С анализом риска тесно связан процесс оценки риска. Оценка риска это процесс, используемый для определения величины (меры) риска для здоровья человека, материальных ценностей, окружающей природной среды и других ситуаций, связанных с реализацией опасности. Оценка риска - обязательная часть анализа.

На этом этапе установленные опасности должны быть оценены с целью выделения опасностей с неприемлемым уровнем риска. Этап служит основой для разработки рекомендаций и принятия мер по уменьшению опасностей. При этом и критерии приемлемого риска, и результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно.

Оценка риска включает в себя анализ частоты и анализ последствий. Однако, когда последствия незначительны и частота крайне мала, достаточно оценить лишь один из указанных параметров.

Существуют разные подходы к оценке риска.

Первый из них - инженерный. Он опирается на статистику реализовавшихся опасностей, на вероятностный анализ безопасности,

который обычно включает построение и расчет так называемых деревьев событий и деревьев отказов. С помощью первых прогнозируют возможные последствия развития той или иной опасности, а деревья отказов, наоборот, помогают проследить все причины, которые способны вызвать какое-то нежелательное событие. Когда деревья построены, рассчитывается вероятность реализации каждого из сценариев (каждой ветви), а затем - общая вероятность небезопасных событий в анализируемой системе.

Второй подход, модельный, - основан на рассмотрении моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Эти модели могут оценивать воздействия как в ходе работы систем в штатном режиме, так и при возникновении в них особых ситуаций.

Оба подхода основаны на расчетах, однако, для таких расчетов далеко не всегда хватает надежных исходных данных. В этом случае приемлем третий подход - экспертный: вероятности различных событий, связи между ними и последствиями определяют не вычислениями, а опросом опытных специалистов.

Наконец, в рамках четвертого подхода - социологического - исследуется отношение людей к разным видам риска, например с помощью социологических опросов.

То, что для определения риска могут использоваться столь несхожие между собой методы, не должно удивлять. В разных задачах под риском могут понимать или вероятность нежелательного события, или масштаб возможного ущерба от него, или комбинацию двух этих величин. Описывая риск, нужно учитывать и выгоду, которую получает общество, когда на него идет (бесполезный риск недопустим, даже если он ничтожно мал). Иными словами, величина риска - это не какое-то одно число, а вектор, состоящий из нескольких компонент. И поэтому обычно имеют дело с так называемым многокритериальным выбором, процедура которого описывается в теории принятия решений.

Анализ неопределенностей - составная часть оценки риска. Основными источниками неопределенностей при анализе рисков являются информация о надежности оборудования и персонала, а также допущения в принятых моделях аварийного процесса. Чтобы правильно оценить величину риска, необходимо понимать природу неопределенности и причины ее возникновения. Интерпретация неопределенности - это перевод неопределенности исходных параметров, использованных при оценке риска, в неопределенность результатов.

Источники неопределенности должны по возможности идентифицироваться. Основные параметры, к которым анализ чувствителен, должны быть представлены в результатах.

Сложные и трудоемкие расчеты зачастую дают значение риска, точность которого невелика. Для сложных технических систем точность расчетов индивидуального риска, даже в случае наличия всей необходимой информации, не выше одного порядка. При этом проведение полной количественной оценки риска более полезно для сравнения различных

вариантов действий (например, варианты проведения конструктивных доработок авиатехники), чем для принятия заключения о степени безопасности объекта. Зарубежный опыт показывает, что наибольший объем рекомендаций по обеспечению безопасности вырабатывается с применением качественных (из числа инженерных) методов анализа риска, позволяющих достигать основных целей риск-анализа при использовании незначительного объема информации и затрат труда. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях - и единственно возможны, например, при сравнении опасностей различной природы или при экспертизе особо опасных, сложных и дорогостоящих технических систем.

1.4 Управление риском

Под термином «управление риском» понимается совокупность действий, направленных на снижение уровня технологического риска, уменьшение потенциальных потерь и других негативных последствий нежелательных событий. По сути дела, речь идет о предотвращении возникновения происшествий в ходе производственной деятельности и мерах по локализации негативных последствий в тех случаях, когда нежелательные события произошли.

Особенностью такой стратегии обеспечения безопасности является комплексность предпринимаемых действий, включающая в себя различные аспекты - технические, организационно-управленческие, социально-экономические, медицинские, биологические и др.

Опасность, являясь основным инициатором рассмотрения проблем управления риском, обычно определяется как объективно существующая возможность негативного воздействия на общество, личность, природную среду, в результате которого им может быть причинен какой-либо ущерб, вред, ухудшающий состояние, придающий их развитию нежелательные динамику или параметры (темпы, формы и т.д.). Опасность техногенного характера имеет несколько другое толкование и рассматривается как состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника опасной ситуации на человека и окружающую среду при ее возникновении либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов. В общем случае последствия неблагоприятных событий можно разделить на три группы ущерба:

- причинение ущерба жизни и здоровью людей;
- экономические ущербы:
 - из-за повреждения и разрушения технических объектов, включая объекты авиационной инфраструктуры;
 - косвенные убытки из-за выхода их из эксплуатации и остановки производства;
- ущерб и неблагоприятные последствия для окружающей среды.

При рассмотрении социальных, экономических и экологических сторон неблагоприятных событий целесообразно оперировать понятиями прямого, косвенного и полного ущерба.

1.4.1 Общность и различие процедур оценки и управления риском

Общим в оценке риска и управлении риском является то, что они – представляют собой две стадии единого процесса управления безопасностью деятельности. Целью этой деятельности является определение приоритетов действий, направленных на уменьшение риска до приемлемой величины. Это становится возможным, когда известны как источники опасности - (анализ риска), так и наиболее эффективные пути их устранения или локализации (управлением риском).

Основное различие между двумя понятиями заключается в том, что оценка риска строится на естественнонаучном и инженерном изучении источника (например, надежность воздушного судна) и факторов риска (например, техническое обслуживание ВС) и механизма взаимодействия между ними.

Управление риском опирается на экономический и социальный анализ, а также на законодательную базу, которые не используются при оценке риска. Управление риском имеет дело с анализом альтернатив по минимизации риска, т.е. является, по сути дела, частным случаем класса многокритериальных задач принятия решения в условиях неопределенности. Оценка риска служит основой для выработки мер управления риском в соответствии с принятым алгоритмом действий.

Заключительная фаза процедуры оценки риска – получение характеристик риска - одновременно является первым звеном процедуры управления риском.

1.5 Количественные показатели риска

Для управления риском его необходимо выявить и оценить. Ввиду приведенного выше определения риска, его количественный показатель представляет собой численные значения вероятности наступления нежелательного события или (и) результатов нежелательных последствий (ущерба).

Количественно риск может быть определен как частота реализации определенной опасности.

Изучение статистических данных позволяет выявить частоту возникновения опасных событий. Однако серьезность последствий событий (даже внутри одного класса происшествий) может значительно изменяться от события к событию. Это вызывает необходимость введения категорий событий (например, события с тяжелыми, средними или легкими последствиями – катастрофы, авиационные происшествия без человеческих жертв, инциденты) и рассмотрения частоты каждой из таких категорий. Достичь этого можно путем приписывания каждому классу или подклассу показателя риска (числа событий за определенный период времени,

деленный на длительность этого периода), имеющего размерность обратного времени (например "час⁻¹", "год⁻¹"). Этот показатель иногда рассматривается как мера "вероятности" возникновения события.

Поскольку реализация опасности явление случайное, риск опасности (как бы ни определять его - как частоту или вероятность) есть числовая характеристика соответствующей случайной величины, используемой для описания данной опасности. В качестве простейшего примера возможного формального подхода рассмотрим случайную величину s - длительность периода безаварийной работы функциональной системы ВС, областью определения которой служит множество режимов эксплуатации за произвольное (возможно, бесконечное) время. Оказывается возможным явно вычислить функцию распределения этой величины $F_s(t) = P(s \leq t)$, предположив ее независимость от предыстории функционирования системы (такое предположение является наиболее оптимистичным в отношении уровня безопасности). Существует единственное решение, удовлетворяющее сформулированному условию:

$$F_s(t) = 1 - e^{-qt} \text{ для } t > 0;$$

$$F_s(t) = 0 \text{ для } t < 0,$$

Это так называемое показательное распределение. Математическое ожидание M_s случайной величины s есть

$$M_s = 1/p,$$

что позволяет интерпретировать параметр p как среднюю (ожидаемую) частоту происшествий или риск происшествий. Вероятность происшествий p_m за период времени, не превосходящий T , определяется, как

$$p_m = P(s \leq T) = 1 - e^{-q \cdot T}.$$

Последствие (его тяжесть) Y в виде нежелательного события или ущерба может в соответствии со своей величиной описываться своими специфическими параметрами. Диапазон используемых при этом параметров может быть весьма широк - от экономических до этических ценностей и человеческих жертв.

Мерой опасности возникновения нежелательного события служит вероятность его наступления P . Отсюда следует:

$$R = Y \cdot P.$$

Величина риска определяется как произведение величины параметра, характеризующего тяжесть нежелательного события, на вероятность его наступления, т. е. как математическое ожидание величины нежелательных последствий.

Для множества причин возникновения риска можно в общем виде записать формулу расчета в виде

$$R = P_1 P_2 P_3 P_4,$$

где R - риск, т.е. вероятность нанесения определенного ущерба;

P_1 - вероятность возникновения события или явления, обуславливающего появление и развитие опасных факторов;

P_2 - вероятность формирования определенных уровней физических полей, ударных нагрузок, полей концентрации высоких температур, воздействующих на людей и другие объекты;

P_3 - вероятность того, что указанные уровни полей и нагрузок приведут к определенному ущербу;

P_4 - вероятность отказа средств защиты.

Таким образом, количественная мера риска может выражаться не только вероятностной величиной. Риск иногда интерпретируют как математическое ожидание ущерба, возникающего при реализации опасностей.

При определении математического ожидания величины ущерба представляется целесообразным принимать во внимание все возможные виды опасностей для данного объекта и оценку риска производить по сумме произведений вероятностей указанных событий на соответствующие ущербы. В этом случае справедлива следующая зависимость:

$$R_{MO} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i,$$

где R_{MO} - уровень риска, выраженный через математическое ожидание ущерба;

P_i - вероятность возникновения опасного события i -го класса;

Y_i - величина ущерба при i -ом событии.

Хотя последняя интерпретация находит применение, однако вероятностная мера риска является более удобной и применяемой при решении широкого круга задач практического характера, в особенности задач, касающихся безопасности.

Понятие “риск” определяет меру вполне определенных опасностей. Оценивая риск необходимо, прежде всего, ответить на вопрос: риск чего? (Например, риск событий, связанных с эксплуатацией сложной технической системы - разгерметизацией оборудования, отказом средств предупреждения, ошибками человека и т. д.).

На рисунке 1.1 дан обзор ситуаций с риском возникновения соответствующих нежелательных событий и приведены параметры их измерения.

При угрозе материальным ценностям риск часто измеряют в денежном выражении. Если различные последствия нежелательного события одинаковы или очень велики, то для сравнения достаточно рассматривать одни соответствующие вероятности. Наряду с этим может возникнуть угроза, которую нельзя выразить количественно, например, когда последствия события нельзя предусмотреть достаточно полно. Примером могут служить последствия выхода из строя технического устройства (установки и т.д.), используемого в различных условиях эксплуатации, которые его разработчик или изготовитель оценить не могут. В этом случае мерой риска остается

принять вероятность превышения предельных ограничений на систему. При риске, связанном со здоровьем, последствия могут быть оценены количественно в таких категориях, как простой в работе или расходы на оплату работы персонала во внеурочное время и т.п., страховые выплаты. При риске, связанном с летальным исходом, количественные оценки последствий в большинстве случаев отсутствуют. Особые проблемы представляют случаи, когда опасность грозит и материальным ценностям, и людям, и окружающей природе одновременно, и желательно меру такого риска оценить по нескольким компонентам.

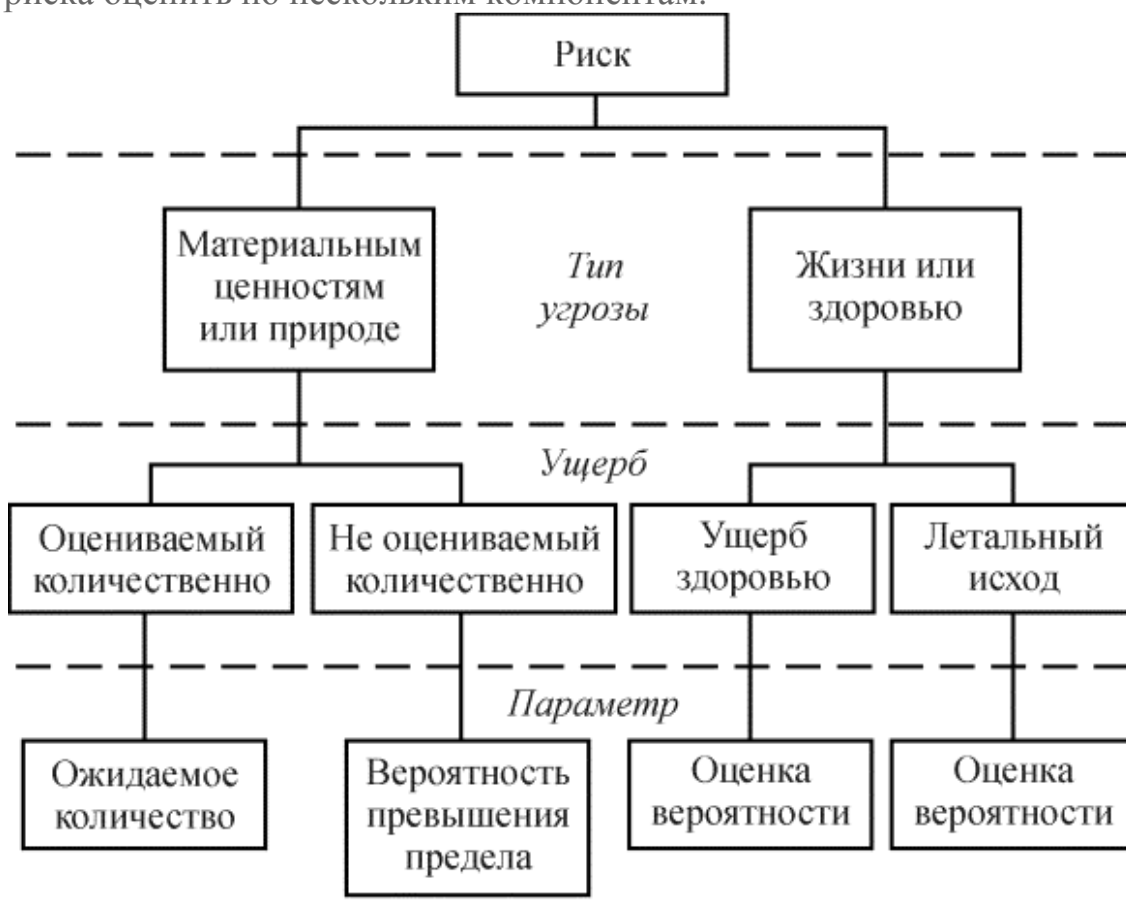


Рис. 1.1. Обзор ситуаций риска

Риск может быть явно связан с факторами, не поддающимися учету. Так, вред, наносимый населению, проживающему вблизи аэродромов, шумом взлетающих ВС, невозможно оценить.

1.6 Приемлемый риск

Традиционный подход к обеспечению безопасности при эксплуатации технических систем и технологий базируется на концепции "абсолютной безопасности" – ALARA (аббревиатура от "As Low As PracticabLe AchievabLe": "настолько низко, насколько это достижимо практически"). То есть внедрение всех мер защиты, которые практически осуществимы. Как показывает практика, такая концепция неадекватна законам техносферы. Эти законы имеют вероятностный характер, и абсолютная безопасность достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии. Требование абсолютной безопасности, подкупающее своей гуманностью, оборачивается трагедией для людей, потому что обеспечить нулевой риск в действующих системах невозможно, и человек должен быть ориентирован на возможность возникновения опасной ситуации, т.е. ориентирован на соответствующий риск.

В настоящее время на смену концепции абсолютной безопасности пришла концепция "приемлемого" (допустимого) риска. Это понятие произошло от принятого в современной научной литературе термина – "принцип приемлемого риска", известного как принцип ALARA (аббревиатура от "As Low As ReasonabLe AchievabLe": "настолько низко, насколько это достижимо в пределах разумного", учитывая социальные и экономические факторы). То есть если нельзя создать абсолютно безопасные технологии, обеспечить абсолютную безопасность, то, очевидно, следует стремиться к достижению, хотя бы такого уровня риска, с которым общество в данный период времени может согласиться.

В силу этих обстоятельств в промышленно развитых странах, начиная с конца 70-х – начала 80-х гг., в исследованиях, связанных с обеспечением безопасности, начался переход от концепции "абсолютной" безопасности к концепции "приемлемого" риска. Степень внедрения этой концепции в практическую деятельность сегодня различна в разных странах и в некоторых из них уже введена в законодательство. Например, в Нидерландах эта концепция в 1985г. была принята парламентом страны в качестве государственного закона. Согласно ему, вероятность смерти в течение года для индивидуума от опасностей, связанных с техносферой, $>10^{-6}$ считается недопустимой, а $<10^{-8}$ - пренебрежимой. "Приемлемый" уровень риска выбирается в диапазоне 10^{-6} - 10^{-8} в год, исходя из экономических и социальных причин. Для сравнения: риск смерти человека, равный 10^{-6} , соответствует риску, которому он подвергается в течение своей поездки на автомобиле на расстояние в 100км или полете на самолете на расстояние 650км, или, если он ежедневно выкуривает 3/4 сигареты, или в течение 15мин занимается альпинизмом и т.д.

В Нидерландах при планировании промышленной деятельности, наряду с географическими, экономическими и политическими картами, используются и карты риска для территории страны. В этих условиях, чтобы построить промышленное предприятие и ввести его в эксплуатацию,

проектировщикам требуется количественно определить уровень риска его эксплуатации и доказать правительственным органам приемлемость этого риска. При лицензировании нового крупного промышленного предприятия также требуется предоставить топографическую карту риска, которому будет подвергаться человек, оказавшийся в зоне расположения этого предприятия. На этой карте должны быть указаны замкнутые кривые равного риска, каждая из которых соответствует следующим численным значениям вероятности смерти индивидуума в течение года: 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} .

Существует уровень риска, который можно считать пренебрежимо малым. Если риск от какого-то объекта не превышает такого уровня, нет смысла принимать дальнейшие меры по повышению безопасности, поскольку это потребует значительных затрат, а люди и окружающая среда из-за действия иных факторов все равно будут подвергаться почти прежнему риску. С другой стороны, есть уровень максимального приемлемого риска, который нельзя превосходить, каковы бы ни были расходы. Между двумя этими уровнями лежит область, в которой и нужно уменьшать риск, отыскивая компромисс между социальной выгодой и финансовыми убытками, связанными с повышением безопасности.

Решение о том, какой уровень риска считать приемлемым, а какой нет, носит не технический, а политический характер и во многом определяется экономическими возможностями страны.

Конечно, Нидерланды надо рассматривать как пример страны, где наиболее широко используются вероятностные методы в практической деятельности по обеспечению безопасности при эксплуатации промышленных и транспортных объектов. В других странах масштабы использования концепции "приемлемого" риска в законодательстве более ограничены, но во многих странах существует тенденция к ее все более полному применению (табл.1.4).

1.6.1 Сравнение рисков

Ключевое значение в установлении границ допустимого риска получила идея, предложенная Фармером в 1967 году. Смысл ее заключался в установлении зависимости между средним количеством нежелательных (небезопасных) событий и вероятностью (средняя частота в год) их наступления. Примером использования таких диаграмм могут служить графики (рис. 1.2, 1.3), на которых подобные зависимости применяются для сравнения различных техногенных и природных опасностей. За такими графиками закрепилось название "F/N - диаграмма". Подобные графики с горизонтальной осью N - "число событий со смертельным исходом" и вертикальной осью F - "частота событий" в случае, если количество данных и диапазон их изменений очень велик, обычно строятся в логарифмическом масштабе. Они могут быть аппроксимированы непрерывной функцией.

Следует отметить, что аналогично в качестве переменной N можно принять материальный и/или экологический ущерб, для которых могут быть

построены свои $F-N$ -кривые, служащие мерой экономического (например, страхового) или экологического риска соответственно.

Таблица 1.4 Критерии приемлемости риска в пяти странах

Страна	Определение приемлемости надзорными органами	Требуемое обоснование	Использование количественных оценок риска
Великобритания	Риск должен быть так низок, как практически возможно	Доклад о деятельности, определенной нормативами СИМАН	Предлагаемый риск серьезных аварий 10^{-4} 1/год на границе приемлемости
Германия	Должен удовлетворять техническим правилам и не причинять ущерб окружающей среде или значительный ущерб населению	Анализ безопасности последнего состояния технологии	Только как часть анализа безопасности. Никакие количественные показатели на могут быть удовлетворительно определены
Франция	Реальное арбитражное просвещение	Оценка технического риска и экономический анализ	Риск неприемлемых последствий, который не должен превышать 10^{-6} 1/год, рассматривается скорее как цель, чем требование
Дания	Требования выражены в общих терминах. Загрязнение окружающей среды не выше пороговых значений	Должен быть приемлем для Комитета соответствующей организации	Риск, не превышающий 10^{-6} 1/год приемлем
Нидерланды	Опасность должна быть квантифицирована настолько точно, насколько возможно	Доклад по безопасности должен быть одобрен надзорными органами и Рабочим советом. Пригодность операционного персонала должна быть оценена	Анализ в терминах теории вероятности. Обеспечиваемый максимальный приемлемый индивидуальный риск смерти 10^{-6} 1/год

Таким способом определяется предельная кривая частоты опасных событий (нежелательных последствий), которая может использоваться, прежде всего, для сравнения опасностей и в качестве исходных данных проектировщиками и специалистами по безопасности. Считается, что кривая отделяет верхнюю область недопустимо большого риска от области приемлемого риска, расположенной ниже и левее кривой. Кривую, таким образом, можно использовать в качестве критерия безопасности, определяющего верхнюю границу допустимой вероятности. Если это условие

выполняется, основная цель достигнута. Для рассматриваемых характеристик необходима реальная статистика.

Из рис.1.2 и 1.3 видно, что частота и величина риска, связанного с природными катаклизмами, обычно существенно превосходят угрозы, сопутствующие эксплуатации техники. На рис. 1.4 сопоставлены экономические последствия ущерба, наносимого природными катаклизмами и техническими катастрофами.

Поскольку границы допустимого риска трудно рационально обосновать, при решении сложных технических задач следует использовать сравнение рисков в аналогичных ситуациях. При этом в анализе следует ориентироваться на наиболее неблагоприятные случаи (не игнорируя здравый смысл). Установленный таким образом крайне неблагоприятный случай угрозы нужно сравнить по частоте и величине с ранее имевшими место аналогичными рисками.

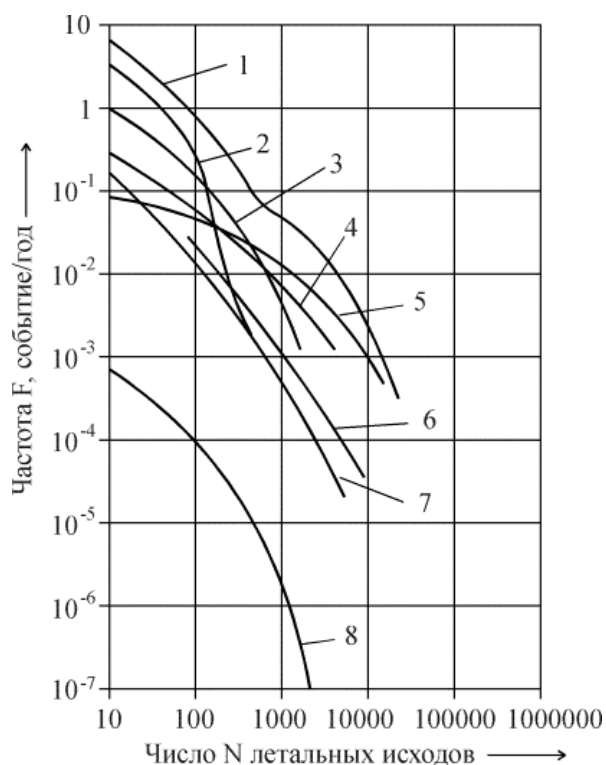


Рис. 1.2. Частота и количество катастроф связанных с техникой

1 - суммарная кривая; 2 - общее число катастроф ВС; 3 - пожары; 4 - взрывы; 5 - прорывы плотин; 6 - выбросы вредных химических веществ; 7 – катастрофы самолетов (без пассажиров); 8 - 100 атомных реакторов

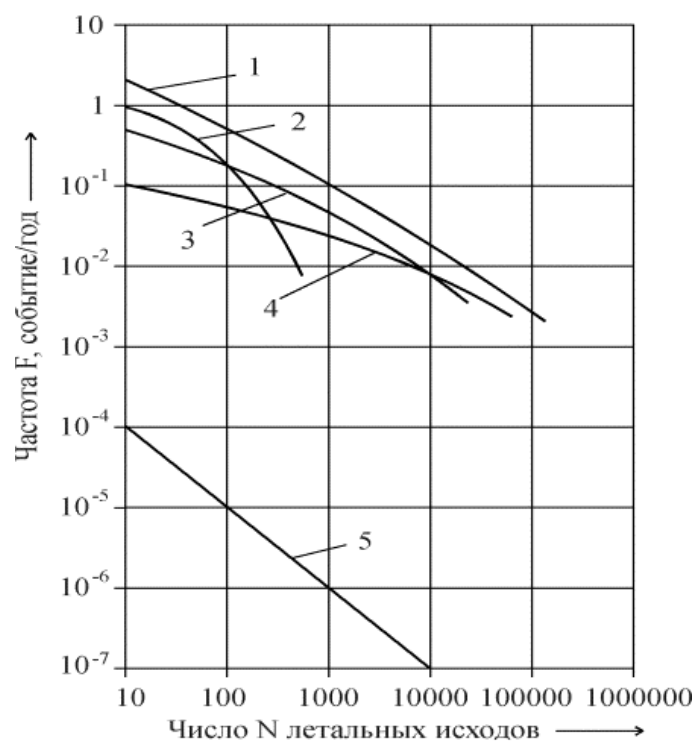


Рис. 1.3 Частота и количество природных катастрофических событий:

1 - суммарная кривая; 2 - торнадо; 3 - ураганы; 4 - землетрясения; 5 - падение метеоритов

Таблица 1.5 Частота возникновения летального исхода

Условия и вид деятельности	10^{-7} чел/год
Эксплуатация легкового и грузового автотранспорта	2700
Огонь и взрывы	400
Водоемы	280
Работа с механизмами	100
Воздушное сообщение	75
Электричество	51
Молния	5,5
Городской общественный транспорт	0,45
Радиоактивное излучение	0,05

Таблица 1.6 Частота возникновения летального исхода

Отрасль народного хозяйства	10^{-7} чел/ч
Горные работы	3
Транспорт	3
Строительство	2
Добыча нерудных полезных ископаемых	1
Эксплуатация газопроводного оборудования и гидротехнических сооружений	0,6
Металлургическая промышленность	0,6
Деревоотделочные работы	0,6
Пищевая промышленность	0,6
Целлюлозно-бумажная промышленность и печать	0,6
Электротехника, точная механика и оптика	0,5
Химия	0,4
Торговля, финансы, страхование, коммунальные услуги	0,4
Текстильная и кожевенно-обувная промышленность	0,4
Здравоохранение	0,3
	0,2
Средняя величина для 20,2 млн. застрахованных	0,7

Таблица 1.7 Частота возникновения летального исхода

Вид деятельности	10^{-7} чел/ч
Профессиональная деятельность	3-0,2
Участие в движении транспорта	10-0,5
Занятие домашним хозяйством и свободное время	0,5
Тяжелые заболевания	3-0,01

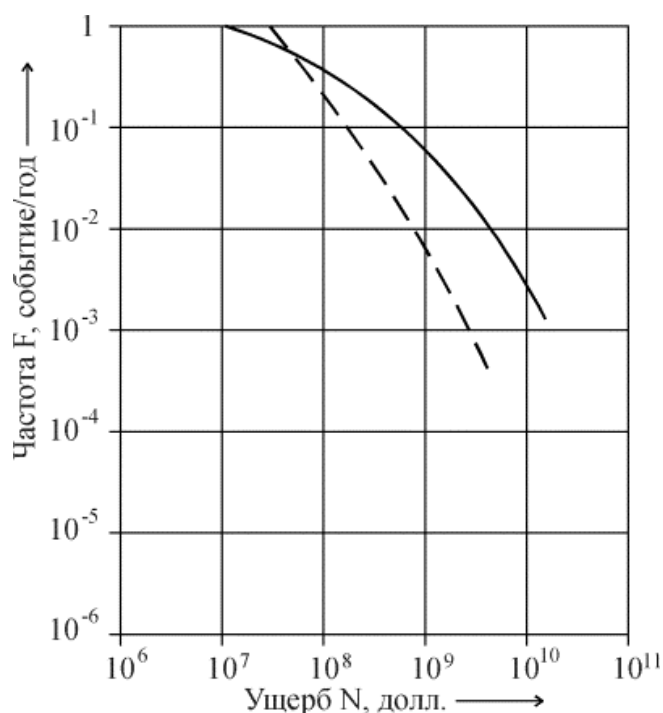


Рис. 1.4 Объем ущерба, наносимого в результате технических и природных катастрофических событий: — природные катаклизмы; - - - техногенные катастрофы

Из таблиц 1.5-1.7, а также рис. 1.4 видно, что риск летального исхода существует на уровне 10^{-7} и выше на человека в год. Таким образом, при проектировании и эксплуатации технических устройств риск на уровне 10^{-7} чел/год может быть принят допустимым при следующих условиях:

- проблема риска проанализирована глубоко и всесторонне;
- анализ проведен до принятия решений и подтвержден имеющимися статистическими данными в определенном временном интервале;
- после наступления неблагоприятного события анализ и заключение о риске, полученные на основании имевшихся данных, не меняются;
- анализ показывает, и результаты контроля все время подтверждают, что угроза не может быть уменьшена ценой оправданных затрат.

Сформулированные положения подтверждают, что нецелесообразно задавать детерминированную границу риска. Более приемлемыми параметрами представляются вероятность p_v , отделяющая оправданный риск от условно оправданного, и вероятность p_u , отделяющая условно оправданный риск, т.е. соответствующий определенным условиям, от неоправданного. К условиям, при которых риск летальных исходов p_L лежащий в диапазоне $p_v < p_L \leq p_u$ может быть допущен, относятся указанные выше четыре требования к анализу риска. Эти требования должны соблюдаться при принятии управленческих решений, связанных с повышением эффективности деятельности, исключением неблагоприятных ситуаций и т.п. Для летальных исходов принимают значения оправданного риска $p_v = 10^{-8}$ и, с большим безопасным промежутком, неоправданного $p_u = 10^{-5}$ на человека в год; эти значения принято считать разумными.

Если речь идет исключительно о риске материальных потерь, метод сравнения при оценке риска не вызывает сомнений. В этом случае можно принимать решения, оценивая лишь экономический эффект.

Сравнение данной рискованной ситуации с возникавшими в прошлом аналогичными ситуациями дает для оценки риска более надежные исходные предпосылки, чем субъективные оценки. Проблема оценки этим, однако, все же не решается. В отдельных случаях, конечно, можно довольствоваться требованием, чтобы допустимый риск был заведомо ниже риска, ранее имевшего место в аналогичных ситуациях. Но в других случаях, особенно при очень высоком уровне затрат, проблема остается все же нерешенной.

1.7 Развитие риска на технических объектах

На процесс возникновения и развития риска оказывает влияние множество факторов и условий (рис. 1.5) среди которых отказы в работе систем и агрегатов вследствие их конструктивных недостатков, низкого качества изготовления или нарушения правил технического обслуживания; отклонения от нормальных условий эксплуатации; ошибки персонала; внешние воздействия и пр.

Риск возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование фактора риска (источника опасности);
- присутствие данного фактора риска в определенной, опасной (или вредной) для объектов воздействия мере;
- подверженность (чувствительность) объектов воздействия к факторам опасностей.

Между нежелательными событиями (происшествиями) в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно им предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонения от нормального хода технологических процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к происшествию, но готовят почву для него.

Операторы, как правило, не замечают этой фазы из-за невнимания к регламенту или недостатка информации о работе объекта, так что у них не возникает чувства опасности. На следующей фазе происходит неожиданное или редкое событие, которое существенно меняет ситуацию. Операторы пытаются восстановить нормальный ход технологического процесса, но, не обладая полной информацией, зачастую только усугубляют развитие происшествия. Наконец, на последней фазе еще одно неожиданное событие - иногда совсем незначительное - играет роль толчка, после которого техническая система перестает подчиняться людям, и происходит неблагоприятный исход.

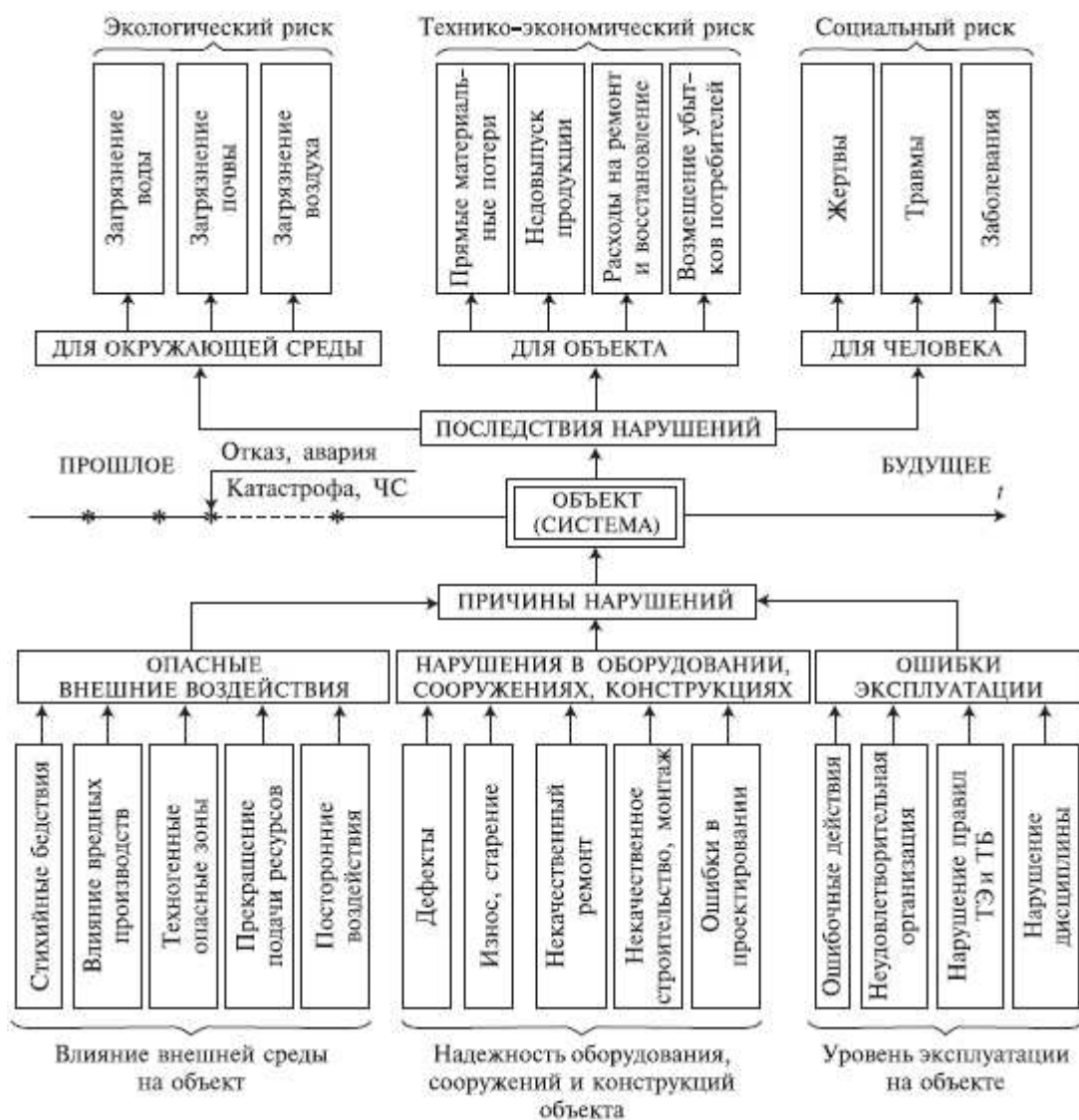


Рис. 1.5

Риск является неизбежным, сопутствующим фактором производственной деятельности. Риск объективен, для него характерны неожиданность, внезапность наступления, что предполагает прогноз риска, его анализ, оценку и управление - ряд действий по недопущению факторов риска или ослаблению воздействия опасности.

1.8 Моделирование риска

Для оценки динамики возникновения и развития причин происшествий, прогнозирования их последствий обычно требуется создавать математические модели, позволяющие осмыслить поведение технической системы и с ее помощью оценить различные стратегии риска. Модель должна отражать важнейшие черты явления, т. е. в ней должны быть учтены все существенные факторы, от которых в наибольшей степени зависит функционирование системы. Вместе с тем она должна быть по возможности простой и понятной пользователю, целенаправленной, надежной (гарантия от абсурдных ответов), удобной в управлении и обращении, достаточно полной,

адекватной, позволяющей легко переходить к другим модификациям и обновлению данных.

При построении математической модели может быть использован математический аппарат различной сложности - алгебраические и дифференциальные уравнения, как обыкновенные, так и с частными производными. В наиболее трудных случаях, если функционирование системы зависит от большого числа сложно сочетающихся между собой случайных факторов, может применяться метод статистического моделирования.

Моделирование индивидуального риска. Как указывалось ранее, под индивидуальным риском понимают вероятность гибели человека в течение года от определенных причин (или их совокупности, в частности, в результате авиационных происшествий).

Моделирование социального риска. Социальный риск - зависимость частоты возникновения событий, вызывающих ущерб определенного масштаба, от масштаба ущерба. Результаты анализа изображаются в виде графиков (так называемых $F-N$ диаграмм). Социальный риск $R - F(N)$ характеризует масштаб реализации возможных опасностей. Социальный риск может быть рассчитан по формуле

$$R_c(N) = \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} P(N/Q_m) P(Q_m/A_i) F(A_i)$$

где $P(N/Q_m)$ — вероятность гибели (травмирования) N людей от Q_m -го фактора угрозы;

$P(Q_m/A_i)$ - вероятность возникновения Q_m -го фактора угрозы при реализации A_i -го события (аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия).

Для оценки риска происшествий, наряду с аналитическими методами, представляется возможным использование метода Монте-Карло. Большинство методов, используемых при анализе рисков, позволяют решать вероятностные проблемы, сводя их к задачам теории вероятностей и математического анализа, решение которых, в свою очередь, можно получить аналитически или численно. Метод Монте-Карло, называемый также методом статистического моделирования, позволяет решать вероятностные проблемы статистическими средствами.

Название метода связано с названием города Монте-Карло, где в казино играют в рулетку — одно из механических устройств для получения случайных чисел, на использовании которых основан данный метод. Электронные вычислительные машины позволяют легко получать так называемые псевдослучайные числа, которые при решении задач используются как случайные. С появлением современной вычислительной техники метод Монте-Карло находит все более широкое применение в различных областях науки и техники для исследования различного рода систем (автоматического управления, экономических, биологических, технических и т.д.) практически любой сложности.

Идея этого метода чрезвычайно проста и состоит в следующем. Вместо того чтобы описывать случайный процесс с помощью аналитического аппарата, производится “розыгрыш” случайного явления с помощью последовательных операций, дающих случайный результат. Конкретное осуществление случайного процесса складывается каждый раз по-иному, поэтому в результате статистического моделирования (розыгрыша) возникает каждый раз новая, отличная от других, искусственная реализация этого процесса. При числе повторений ($N \geq 100$) метод дает статистически устойчивое сходство результата. При этом на основании перечисленных исходных данных формируется массив случайных значений величин.

Важная особенность метода — его простота. Решение вероятностных проблем методом Монте-Карло, в особенности, если есть соответствующие программы для ЭВМ, теоретически просто. Простота заключается в том, что для построения алгоритма вычислений необходимо записать один цикл реализации модели, а затем повторить его (разыграть исследуемую величину) определенное число раз, зависящее от требуемой точности расчетной характеристики.

Возможность моделирования случайных событий, величин и процессов может быть использована для моделирования реальных ситуаций и явлений, в том числе связанных с опасностями. Получение нескольких реализаций случайного события или случайной величины вряд ли будет целесообразным, но анализ большого числа реализаций или наблюдений позволяет делать оценки их средних характеристик. Такой подход положен в основу метода Монте-Карло, в котором используются различные предельные соотношения теории вероятностей — законы больших чисел и предельные теоремы.

Сущность метода может быть проиллюстрирована на следующей наиболее простой его реализации.

Пусть известна неслучайная функция (например, ущерб) $Y = \varphi(X)$, аргументом которой является случайная величина X с заданным законом распределения $H_x(x)$. Требуется оценить закон распределения случайной величины Y или параметры закона распределения (если вид его известен заранее). Поступают следующим образом: по известной функции распределения $H_x(x)$ проводят n испытаний, т.е. разыгрывают (моделируют) n возможных значений X : x_1, x_2, \dots, x_n , и с этими числами производят действия в соответствии с функциональной зависимостью $\varphi(X)$:

$$y_1 = \varphi(x_1), y_2 = \varphi(x_2), \dots, y_n = \varphi(x_n)$$

Полученную выборку y_1, y_2, \dots, y_n обрабатывают известными методами математической статистики, получая интересующие параметры и закон распределения случайной величины Y .

Для функции нескольких аргументов алгоритм метода не претерпевает существенных изменений. В этом случае разыгрываются выборки для каждого аргумента X_i в соответствии с законом его распределения $H_{xi}(x_i)$ (подразумеваемая стохастическую независимость аргументов):

В дальнейшем получают выборку $\{y_{ij}\}$, производя действия в соответствии с функциональной зависимостью $Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_m)$:

$$y_1 = \varphi(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1}),$$

$$y_2 = \varphi(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2}),$$

$$y_n = \varphi(x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn}),$$

Оценки числа необходимых испытаний, обеспечивающих погрешность вычисления не более заданной, могут быть получены на основе соотношений предельных теорем.

Классическая задача оценивания математического ожидания случайной величины методом Монте-Карло состоит в следующем. Пусть удалось некоторым способом вычислить значения независимых реализаций y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) случайной величины Y , у которой существуют и конечны ее математическое ожидание MY и дисперсия DY .

Тогда среднее арифметическое значение $\hat{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ при достаточно большом n имеет нормальное распределение, и при заданном уровне γ доверия имеет место неравенство

$$\left| MY - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right| \leq \alpha \frac{\sqrt{DY}}{\sqrt{\sqrt{n}}}$$

где α — константа, определяемая выбором величины γ . Из этого неравенства следует, что количество вычислительной работы для достижения заданной точности при заданном уровне доверия пропорционально величине $(\sqrt{DY})/\sqrt{n}$.

Таким образом, повышение точности счета на один порядок приводит к увеличению счета на два порядка. Многие практики считают, что это является большим недостатком метода Монте-Карло. Однако следует иметь в виду, что величина $(\sqrt{DY})/\sqrt{n}$ зависит от числа случайных факторов m в рассматриваемой системе. Если $m > 5$, то метод Монте-Карло оказывается наиболее удобным и эффективным методом, позволяющим получить результат за приемлемое время.

Другая особенность метода — его применение, как правило, тем эффективнее, чем выше вычислительные возможности компьютера. Существуют и используются различные приемы повышения эффективности использования метода Монте-Карло.

Выше было отмечено, что метод Монте-Карло основан на применении случайных чисел. Получение распределенных по заданному закону случайных чисел x_k обычно выполняют в два этапа:

- получение случайного числа r , равномерно распределенного в интервале $(0, 1)$;
- преобразование равномерно распределенных случайных чисел r_i в искомые x_k .

Устройства, которые вырабатывают случайные числа, называют генераторами (датчиками) случайных чисел. Генераторы работают или на физической основе (кость, рулетка), или, что более современно, на

математической основе с применением вычислительных машин. Датчик случайных чисел на математической основе вырабатывает последовательность случайных чисел с помощью рекуррентных соотношений, т.е. каждое последующее число вычисляется по предыдущему или по заданному в начале вычислений начальному значению. Поскольку такой формализованный подход позволяет говорить о случайности процесса генерации чисел лишь с некоторым приближением, то эти числа иногда называют псевдослучайными. Современные языки программирования имеют встроенные функции для генерирования случайных чисел. Пользователя может не интересовать, какой алгоритм заложен, например, в последних версиях математического пакета *Mathcad* фирмы *MathSoft* в функцию *rnd*, возвращающую псевдослучайное число в диапазоне от нуля до аргумента функции, или ряд других функций, возвращающих векторы случайных чисел, имеющих различные распределения (нормальное, логнормальное, экспоненциальное, Вейбулла, Коши и др.).

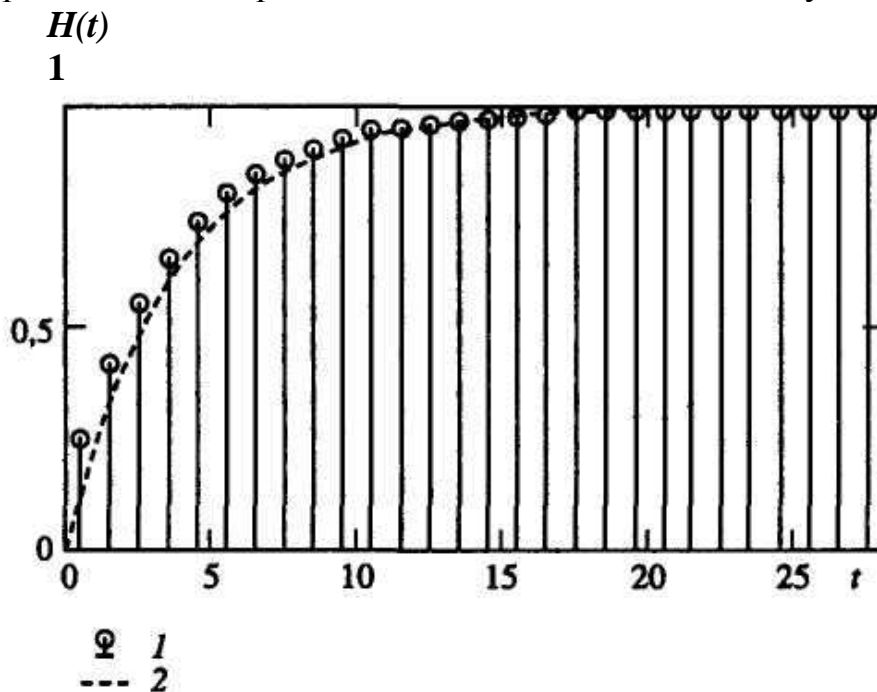


Рис. 4.7. Функция технического риска системы

1 — метод статистического моделирования; 2 — аналитическое решение

На рис. 1.6 приведена функция риска $H(t)$ системы, состоящей из четырех последовательно соединенных элементов с экспоненциальными функциями безопасности, полученная методом статистического моделирования с использованием математического пакета *Mathcad*. Для такой системы средний ресурс T_c можно представить как математическое ожидание $M[T]$ случайной величины

$$T = \min(T_1, T_2, T_3, T_4)$$

где T_i - случайная величина, равная ресурсу элемента с номером i .

Алгоритм расчета состоит в получении реализаций $(t_{01}, t_{02}, t_{03}, t_{04})$ случайного вектора (T_1, T_2, T_3, T_4) в соответствии с заданными законами распределения и вычислении по формуле реализации t случайной величины T . Закон больших чисел обеспечивает сходимость среднего арифметического реализаций t_i к математическому ожиданию T_c случайной величины T , т.е.

среднему ресурсу, а эмпирической функции распределения - к функции распределения H случайной величины T , т.е. функции риска.

Вопросы для самопроверки:

1. Толкования понятий «риск», «опасность».
2. Классификация риска по объектам риска, основные классификационные признаки и источники риска.
3. Содержание анализа риска.
4. Общие положения анализа риска.
5. Основные принципы и постулаты проведения анализа риска в целях управления безопасностью
6. Цель и основные методы проведения оценки риска.
7. Основные области использования точных и приближенных оценок риска.
8. Цель управления риском.
9. Основные виды ущерба из-за реализации техногенных опасных факторов.
- 10.Общность и различие процедур оценки и управления риском.
- 11.Количественная оценка риска.
- 12.Причины перехода от концепции «абсолютной безопасности» к концепции «приемлемого риска».
- 13.Цели построения «F/N диаграмм».
- 14.Основные условия возникновения техногенного риска.
- 15.Цели и формы моделирования процесса возникновения и развития техногенного риска.

2. ОСНОВЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

2.1. Основные определения теории надежности.

Применительно к опасным промышленным и транспортным объектам целесообразно рассматривать проблемы безопасности как проблемы надежности сложных человеко-машинных систем по отношению к здоровью и жизни людей, состоянию окружающей среды. Во-первых, при определенных условиях эти понятия тесно связаны (например, когда нарушение работоспособного состояния технических элементов системы может привести к аварийным или катастрофическим последствиям). Во-вторых, такой подход позволяет использовать количественные показатели безопасности, подобные в математическом отношении принятым показателям теории надежности, методы которой разработаны достаточно полно и широко используются на практике. При этом вводится понятие «*технический риск*» (или функция риска) как дополнение до единицы функции безопасности, определяемой по аналогии с функцией надежности как вероятность безопасной работы. Технический риск не включает измерение размеров потерь или ущерба, эта характеристика позволяет оценивать вероятность критического (опасного) отказа.

Работа любой технической системы может характеризоваться ее эффективностью (рис.2.1), под которой понимается совокупность свойств, определяющих способность системы выполнять определенные задачи.



Рис. 2.1. Основные свойства технических систем

Под **надежностью** понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относят геометрические, кинематические и динамические параметры, показатели конструкционной прочности, показатели точности функционирования, производительности, скорости и т. п. С течением времени значения этих параметров могут изменяться, характеризуя то или иное состояние объекта.

Надежность в общем случае - комплексное свойство, определяемое через безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость технических систем. Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную значимость. Например, для невосстанавливаемого объекта, не предназначенного для хранения, надежность определяется его безотказностью при использовании по назначению. Информация о безотказности восстанавливаемого изделия, длительное время находящегося в состоянии хранения и транспортировки, не в полной мере определяет его надежность (при этом необходимо знать и о ремонтпригодности, и сохраняемости). В ряде случаев большое значение приобретает свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (снятие с эксплуатации, передача в ремонт), т.е. необходима информация не только о безотказности объекта, но и о его долговечности.

Техническая характеристика, количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта, именуется показателем надежности. Она количественно характеризует, в какой степени данному объекту или данной группе объектов присущи определенные свойства, обуславливающие надежность. Показатель надежности может иметь размерность (например, среднее время восстановления) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы).

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Ремонтпригодность - свойство объекта быть приспособленным к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, к восстановлению работоспособности и исправности в процессе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимым прерыванием для технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость - свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение (и после) хранения и (или) транспортировки.

Для показателей надежности используются две формы их представления: вероятностная и статистическая. Вероятностная форма обычно бывает удобнее при априорных аналитических расчетах надежности, статистическая - при экспериментальном исследовании надежности технических систем.

Многоцелевое назначение оборудования и систем приводит к необходимости исследовать те или другие стороны надежности с учетом причин, формирующих надежность объектов. Это приводит к необходимости подразделения надежности на виды.

Различают:

- аппаратную надежность, обусловленную состоянием технических элементов сложных систем; в свою очередь она может подразделяться на надежность конструктивную, схемную, производственно-технологическую;
- функциональную надежность, связанную с выполнением некоторой функции (либо комплекса функций), возлагаемых на объект, систему;
- эксплуатационную надежность, обусловленную качеством использования и обслуживания;
- программную надежность, обусловленную качеством программного обеспечения (программ, алгоритмов действий, инструкций и т.д.);
- надежность системы "человек-машина", зависящую от характеристик взаимодействия человека-оператора и технического устройства.

В теории надежности обычно рассматриваются исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное и предельное состояния.

Исправное состояние (исправность) — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние (неисправность) — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние (работоспособность) — состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют нормативно-технической (проектной) документации.

Неработоспособное состояние (неработоспособность) — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Предельное состояние — состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния — признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией. В зависимости от условий эксплуатации и назначения для одного и того же объекта могут быть установлены различные критерии предельного состояния.

Данные понятия охватывают основные технические состояния объекта. Каждое из них характеризуется совокупностью значений параметров, описывающих состояние объекта, а также качественных признаков, для которых не применяют количественные оценки. Номенклатуру этих параметров и признаков, а также пределы допустимых их изменений устанавливают в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособный объект, в отличие от исправного, должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. Работоспособный объект может быть неисправным (например, объект не удовлетворяет эстетическим требованиям, но ухудшение внешнего вида объекта не препятствует его применению по назначению).

Переход объекта из одного состояния в другое обычно происходит вследствие повреждения или нарушения работоспособного состояния. Переход объекта из исправного состояния в неисправное работоспособное состояние происходит из-за повреждений.

Центральными понятиями в проблеме оценки технического состояния и оценки риска являются: предельное состояние, отказ, наработка и ресурс.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение эксплуатации объекта. При достижении предельного состояния объект должен быть снят с эксплуатации, направлен на ремонт, списан, уничтожен или передан для применения не по назначению. Если критерий предельного состояния объекта установлен из соображений безопасности, то при наступлении предельного состояния хранение и (или) транспортирование объекта должно быть прекращено. В других случаях при наступлении предельного состояния должно быть прекращено применение объекта по назначению.

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (объекта, элемента, системы). Ошибка оператора может также рассматриваться как отказ функционального элемента сложной полиэргатической (человеко-машинной) системы.

Отказ объекта - событие, заключающееся в том, что объект полностью или частично перестает выполнять заданные функции. При полной потере работоспособности возникает полный отказ, при частичной - частичный. Понятия полного и частичного отказов каждый раз должны быть четко сформулированы перед анализом надежности, поскольку от этого зависит количественная оценка надежности.

По причинам возникновения отказов различают:

- отказы из-за конструктивных дефектов;
- отказы из-за технологических дефектов;
- отказы из-за эксплуатационных дефектов;
- отказы из-за постепенного старения (износа).

Отказы вследствие конструктивных дефектов возникают как следствие несовершенства конструкции и технологии ее использования из-за

"промахов" при конструировании. В этом случае наиболее распространенными являются недоучет "пиковых" нагрузок, применение материалов с низкими потребительскими свойствами, схемные "промахи" и др. Отказы этой группы сказываются на всех экземплярах изделия, объекта, системы.

Отказы из-за технологических дефектов возникают как следствие нарушения принятой технологии изготовления изделий (например, выход отдельных характеристик технологических процессов за установленные пределы). Отказы этой группы характерны для отдельных партий изделий, при изготовлении которых наблюдались нарушения технологии изготовления.

Отказы из-за эксплуатационных дефектов возникают по причине несоответствия условий эксплуатации, правил обслуживания требуемым для безотказной работы. Отказы этой группы характерны для отдельных экземпляров изделий

Отказы из-за постепенного старения (износа) вследствие накопления необратимых изменений в материалах, приводящих к нарушению прочности и взаимодействия частей объекта.

Отказы по причинным схемам возникновения подразделяются на следующие группы:

- отказы с мгновенной схемой возникновения;
- отказы с постепенной схемой возникновения;
- отказы с релаксационной схемой возникновения;
- отказы с комбинированными схемами возникновения.

Отказы с мгновенной схемой возникновения характеризуются тем, что время наступления отказа не зависит от времени предшествующей эксплуатации и состояния объекта, момент отказа наступает случайно, внезапно. Примерами реализации такой схемы могут служить отказы изделий под действием пиковых нагрузок в электрической сети, механическое разрушение посторонним внешним воздействием и т.п.

Отказы с постепенной схемой возникновения происходят за счет постепенного накопления (например, вследствие физико-химических изменений в материалах) повреждений. При этом значения некоторых "решающих" параметров выходят за допустимые границы и объект (система) не способен выполнять заданные функции. Примерами реализации постепенной схемы возникновения могут служить отказы вследствие электрической эрозии контактов и т.п.

Отказы с релаксационной схемой возникновения характеризуются первоначальным постепенным накоплением повреждений, которые создают условия для скачкообразного (резкого) изменения состояния объекта, после которого возникает отказное состояние. Примерами реализации релаксационной схемы возникновения отказов могут служить возникновение трещин и микротрещин в структуре конструкционных материалов и их последующее развитие под действием эксплуатационных нагрузок до

момента разрушения или нарушения целостности конструкции или пробой изоляции кабеля вследствие коррозионного разрушения брони.

Отказы с комбинированными схемами возникновения характерны для ситуаций, когда одновременно действуют несколько причинных схем. Примером, реализующим эту схему, может служить отказ электродвигателя в результате короткого замыкания из-за снижения сопротивления изоляции обмоток и перегрева.

При анализе надежности необходимо выявлять преобладающие причины отказов и лишь затем, если в этом есть необходимость, учитывать влияние остальных причин.

По времени развития и степени предсказуемости отказы подразделяются на внезапные и постепенные.

По характеру устранения с течением времени различают устойчивые (окончательные) и самоустраняющиеся (кратковременные) отказы. Кратковременный отказ называется сбоем. Характерным признаком сбоя является то, что восстановление работоспособности после его возникновения не требует ремонта системы. Примером может служить кратковременно действующая помеха при приеме сигнала связного оборудования, дефекты программы навигационного комплекса и т.п.

Отказы отдельных элементов сложных технических систем являются предметом исследований при анализе причинных связей, приведших к отказу системы в целом.

Как показано на рис.2.2 отказы могут возникать в результате:

- первичных отказов;
- вторичных отказов;
- ошибочных команд (инициированные отказы).

Первичный отказ элемента определяют как нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние. Первичные отказы происходят при входных воздействиях, значение которых находится в пределах, лежащих в расчетном диапазоне, а отказы объясняются естественным старением элементов. Разрушение корпуса насоса вследствие старения (усталости) материала под действием циклических нагрузок служит примером первичного отказа.

Вторичный отказ - такой же, как первичный, за исключением того, что сам элемент не является причиной отказа. Вторичные отказы объясняются воздействием предыдущих или текущих избыточных напряжений на элементы. Амплитуда, частота, продолжительность действия этих напряжений могут выходить за пределы допусков и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п. Эти напряжения вызываются соседними элементами или окружающей средой, например - метеорологическими (ливень, ветровая нагрузка), воздействием со стороны других технических систем.

Примером вторичных отказов служит "срабатывание предохранителя от повышенного электрического тока", "повреждение поверхности взлетно-посадочной полосы вследствие неэффективного отвода грунтовых вод в сезон паводков" и пр.. Следует отметить, что устранение источников повышенных напряжений не гарантирует возвращение элемента в рабочее состояние, так как предыдущая перегрузка могла вызвать необратимое повреждение в элементе, требующее в этом случае ремонта.

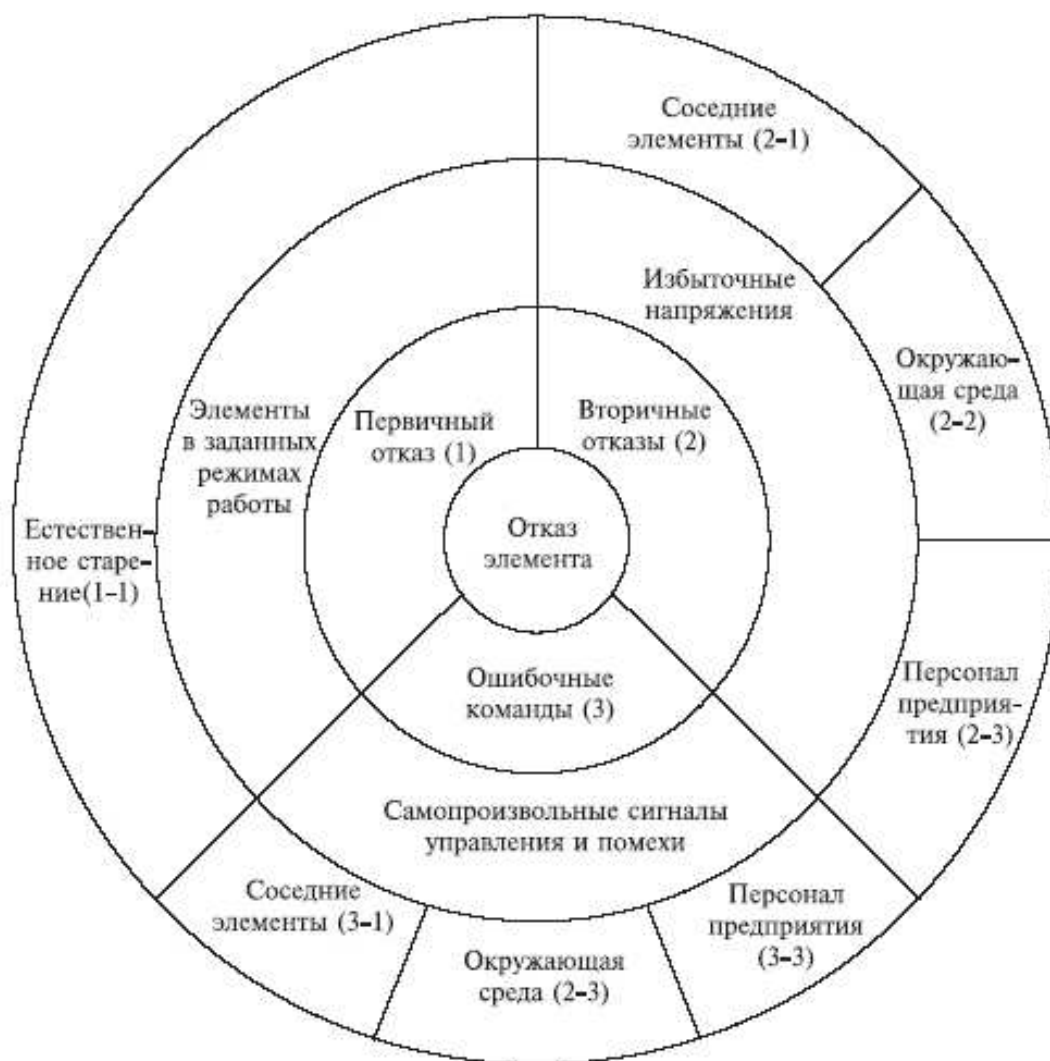


Рис. 2.2. Характеристики отказов элементов

Инициированные отказы (ошибочные и ложные команды). Люди, например, операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные и ложные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за выработки неправильного сигнала управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние). Самопроизвольные сигналы управления или помехи часто не оставляют последствий (повреждений), и в нормальных последующих режимах элементы работают в соответствии с заданными требованиями.

Типичными примерами ошибочных команд являются: "напряжение приложено самопроизвольно к обмотке реле", "переключатель случайно не разомкнулся из-за помех", "помехи на входе контрольного прибора в системе безопасности вызвали ложный сигнал на остановку", "оператор не нажал на аварийную кнопку" (ошибочная команда от аварийной кнопки).

Множественный отказ (отказы общего характера) есть событие, при котором несколько элементов выходят из строя по одной и той же причине. К числу таких причин могут быть отнесены следующие:

- конструкторские недоработки оборудования (дефекты, не выявленные на стадии проектирования, испытания и приводящие к отказам);

- ошибки эксплуатации и технического обслуживания (неправильная регулировка или калибровка, небрежность оператора, неправильное обращение и т. п.);

- воздействие окружающей среды (влага, пыль, грязь, температура, вибрация, а также экстремальные режимы нормальной эксплуатации);

- общий изготовитель (оборудование, поставляемые одним и тем же изготовителем, может иметь общие конструктивные или производственные дефекты). Например, производственные дефекты могут быть вызваны неправильным выбором материала, ошибками в схемах монтажа, некачественной пайкой и т. п.;

- общий внешний источник питания (общий источник питания для основного и резервного оборудования, резервируемых подсистем и элементов);

- неправильное функционирование (неверно выбранный комплекс измерительных приборов или неудовлетворительно спланированные меры защиты).

Для каждой общей причины необходимо определить все вызываемые ею события. При этом определяют область влияния каждой общей причины, а также место расположения элементов и время возникновения общей причины. Некоторые общие причины имеют лишь ограниченную сферу действия. Например, утечка гидрожидкости может ограничиваться падением давления в магистрали одной гидросистемы, и, работа исполнительных механизмов не будет нарушена вследствие утечек, если только основная и дублирующая гидросистемы не сообщаются друг с другом.

Отказ считают по сравнению с другими более критичным, если его влияние на надежность и безопасность работы системы более значительно. При сравнительной оценке критичности отказов учитывают последствия отказа, вероятность возникновения, возможность обнаружения, локализации и т.д.

Указанные выше свойства надежности технических объектов и безопасность системы - взаимосвязаны. Так, при неудовлетворительной надежности объекта невозможно добиться хороших показателей безопасности его эксплуатации. В то же время, надежность и безопасность могут иметь свое самостоятельное значение. Если при анализе надежности изучается способность объекта выполнять заданные функции (при

определенных условиях эксплуатации) в установленных пределах, то при оценке безопасности выявляют причинно-следственные связи возникновения и развития отказов с всесторонним анализом последствий этих событий.

Критерии отказа — признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Причина отказа — явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа объекта.

Последствие отказа - явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением отказа объекта.

Критичность отказа - совокупность признаков, характеризующих последствия отказа.

Повреждение — событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.

Если работоспособность объекта характеризуют совокупностью значений некоторых технических параметров, то признаком возникновения отказа является выход значений любого из этих параметров за пределы допусков. Кроме того, в критерии отказов могут входить также качественные признаки, указывающие на нарушение нормальной работы объекта.

В зависимости от характера проявления, степени наносимого ущерба, возможности быстрого устранения повреждений и т. п. в теории надежности рассматривают различные типы отказов: ресурсный, независимый, зависимый, внезапный, постепенный, сбой, перемежающийся, явный, скрытый, конструктивный, производственный, эксплуатационный, деградационный.

Наработка — продолжительность или объем работы объекта. Нарработка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах) так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков, полетов и т.п.).

Наработка до отказа — наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Ресурс — суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Остаточный ресурс — суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние. Аналогично вводятся понятия «остаточная наработка до отказа» и «остаточный срок службы».

Назначенный ресурс - суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

Назначенный срок службы — календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

2.2 Показатели надежности, безопасности и риска

К показателям надежности и безопасности относят количественные характеристики, которые вводят и определяют согласно правилам теории надежности, теории вероятностей и математической статистики. Область применения этих теорий ограничена крупносерийными объектами, которые изготавливают и эксплуатируют в статистически однородных условиях и к совокупности которых применимо статистическое истолкование вероятности.

Применение статистической теории надежности к уникальным и малосерийным объектам (такowymi являются, как правило, потенциально опасные производственные и транспортные объекты) ограничено. Эта теория применима для единичных восстанавливаемых или ремонтируемых объектов, в которых допускаются многократные отказы, для описания которых применяют модель потока случайных событий (в том числе редких событий, когда проводится анализ критических или аварийных отказов). Статистическую теорию применяют также к уникальным и малосерийным объектам, которые, в свою очередь, состоят из объектов массового производства. В этом случае расчет показателей надежности и безопасности объекта проводят методами статистической теории по известным показателям надежности и безопасности компонентов и элементов.

Рассматривая отказ как случайное событие, удобной мерой надежности технических объектов следует признать вероятность безотказной работы системы (и соответственно мерой безопасности - вероятность безаварийной работы).

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает.

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени (начало исчисления наработки) объект находился в работоспособном состоянии.

Обозначим через t время или наработку объекта. Возникновение первого отказа — случайное событие, а наработка от начального момента до возникновения этого события τ - случайная величина. Вероятность безотказной работы объекта в интервале времени от 0 до t включительно определяют как

$$P(t) = P\{\tau > t\}.$$

Здесь $P\{\tau > t\}$ — вероятность события, заключенного в скобки. Очевидно, что эта величина является функцией времени или наработки $P(t)$. В технической литературе эту функцию называют *функцией надежности*.

Аналогично можно определить вероятность безаварийной работы:

$$S(t) = S(T > t), \quad (2.1)$$

рассматривая происшествие как отказ из-за перехода объекта в предельное состояние (устанавливаемого из соображений безопасности), а наработку (или время) от начального момента до достижения предельного состояния как ресурс T (или срок службы). Функцию $S(t)$ в этом случае называют (по аналогии с функцией надежности) *функцией безопасности*.

В более общем случае, когда состояние объекта характеризуется набором параметров, функция безопасности $S(t)$ определяется вероятностью случайного события, состоящего в том, что на отрезке времени $[0, t]$ ни разу не возникнет особая ситуация, вызванная отказом и приводящая к происшествию.

Функция безопасности $S(t)$ связана с функцией распределения $H(t)$ и плотностью распределения $h(t)$ случайной величины T соотношениями

$$H(t) = 1 - S(t), \quad h(t) = dH(t)/dt = -dS(t)/dt. \quad (2.2)$$

Дополнение функции безопасности $S(t)$ до единицы (т.е. функция распределения случайной величины T в теории вероятностей)

$$1 - S(t) = H(t) \quad (2.3)$$

в теории безопасности и риска называется *функцией риска* или *техническим риском*.

Эту функцию особенно удобно использовать применительно к отказам или совокупностям отказов, последствия которых представляют опасность для людей, окружающей среды, а также связаны с серьезным материальным и (или) моральным ущербом.

Статистическую оценку $\hat{h}(t)$ для плотности распределения $h(t)$ случайной величины T принимают в виде

$$\hat{h}(t) = \frac{n(t + \Delta t/2) - n(t - \Delta t/2)}{N\Delta t} \quad (2.4)$$

где N - число объектов, работоспособных в начальный момент времени;

$n(t + \Delta t/2)$ — число объектов, переходящих в предельные состояния на отрезке от 0 до $t + \Delta t/2$;

$n(t - \Delta t/2)$ — число объектов, переходящих в предельные состояния на отрезке от 0 до $t - \Delta t/2$.

Время t при оценке риска авиационных происшествий обычно исчисляют в годах, поэтому величина $\hat{h}(t)$ имеет смысл годовой относительной частоты происшествий $v(t)$.

Показатели средний ресурс, средний срок службы равны математическим ожиданиям соответствующих случайных величин (ресурса, срока службы).

С учетом формул (2.2) средний ресурс T_c вычисляют по формуле

$$T_c = \int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - H(t)] dt \quad (2.5)$$

Интенсивность технического риска $\lambda(t)$ (аналог интенсивности отказов в теории надежности) определяют по формуле

$$\lambda(t) = h(t)/[1 - H(t)] = -S'(t)/S(t). \quad (2.6)$$

Отсюда, после преобразований, вероятность безаварийной работы на отрезке времени от начала эксплуатации до некоторого момента t определится по формуле

$$S(t) = S(0) \exp \left[- \int_0^t \lambda(t_1) dt_1 \right]$$

Все вышеприведенные характеристики взаимосвязаны, что иллюстрируется табл. 2.1.

Таблица 2.1. Связь между показателями безопасности и технического риска

Показатель	S(t)	H(t)	h(t)	$\lambda(t)$
S(t)	-	1 - H(t)	$1 - \int_0^t h(t_1) dt_1$	$\exp \left[- \int_0^t \lambda(t_1) dt_1 \right]$
H(t)	1 - S(t)	-	$\int_0^t h(t_1) dt_1$	$1 - \exp \left[- \int_0^t \lambda(t_1) dt_1 \right]$
h(t)	- S'(t)	H'(t)	-	$\lambda(t) \exp \left[- \int_0^t \lambda(t_1) dt_1 \right]$
$\lambda(t)$	$\frac{S'(t)}{S(t)}$	$\frac{H'(t)}{1 - H(t)}$	$\frac{h(t)}{1 - \int_0^t h(t_1) dt_1}$	-

Интенсивность технического риска $\lambda(t)$ является важной характеристикой в теории безопасности, так как она определяет вероятность того, что после безотказной работы до момента времени t произшествие произойдет в последующем отрезке времени Δt .

Этот показатель и его приближенные статистические оценки широко используются при анализе безопасности и риска объектов в процессе эксплуатации.

Статистическую оценку для интенсивности технического риска принимают в виде

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - n(t - \Delta t / 2)}{[N - n(t)]\Delta t}$$

Практически для оценки интенсивности риска $\lambda(t)$ используют приближенные оценки исходя из того, что для высоконадежных систем $S(t) \approx 1$. Поэтому интенсивность риска приближенно равна плотности распределения ресурса, что приводит к следующим приближенным оценкам:

$$\lambda(t) \approx h(t) \approx \hat{h}(t) = \nu(t)$$

Так как время t при оценке риска обычно исчисляются в годах, то величина $\lambda(t)$ имеет смысл годового технического риска и фактически имеет значение условного индивидуального риска за год. Если критичность отказов определяется наступлением летального исхода индивидуума в результате происшествия, интенсивность технического риска приобретает значение индивидуального риска за год. Таким образом, в случае редких событий условный индивидуальный риск (годовой) приблизительно равен годовой относительной частоте происшествий.

В технической литературе имеются статистические данные по частотам и интенсивностям отказов (в том числе критическим), которые могут использоваться (с учетом их полноты и достоверности) для априорных и прогнозных оценок интенсивностей технических рисков и тем самым - индивидуальных рисков.

Можно использовать также средний годовой технический риск как отношение $H(T)/T$. Такие показатели безопасности нередко используются в авиации и атомной энергетике.

2.3 Математические модели теории безопасности

Если интенсивность риска $\lambda(t) = \text{const}$, т.е. постоянна во времени, то из формулы (4.10) при $S(0) = 1$ вытекает экспоненциальный закон безопасности, широко применяемый при расчетах так называемых нестареющих объектов:

$$S(t) = \exp(-\lambda t), \quad (2.7)$$

причем $\lambda = 1/T_c$, где T_c — математическое ожидание ресурса (средний ресурс).

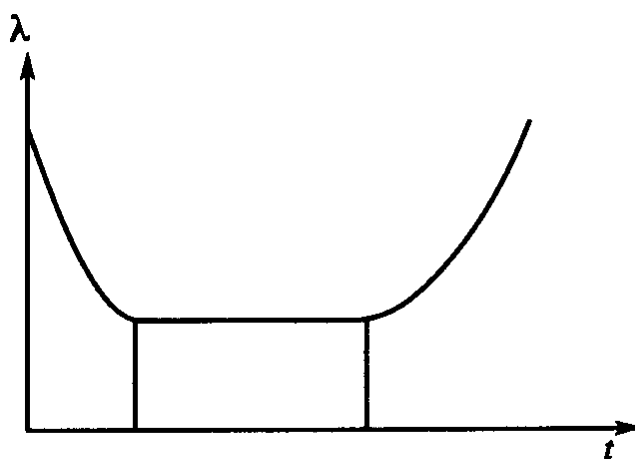


Рис. 2.2. Зависимость изменения интенсивности технического риска $\lambda(t)$ от наработки t

Часто изменение интенсивности технического риска (отказов или параметра потока отказов) во времени имеет следующий характер: вначале интенсивность относительно велика, затем интенсивность снижается (этот период называется *периодом приработки*) и остается примерно постоянной в течение длительного интервала эксплуатации, увеличиваясь к концу его вследствие старения и износа (рис. 2.2).

Помимо экспоненциальной, широко применяется также модель надежности, в основе которой - распределение Вейбулла:

$$S(t) = \exp [-(\lambda t)^\beta] \quad (2.8)$$

Здесь $\lambda = 1/T_c$, где T_c — математическое ожидание ресурса (срока службы);

β — положительный параметр, варьирование которого позволяет описать широкий класс распределений.

При $\beta > 1$ распределение Вейбулла описывает поведение «стареющих» объектов, у которых интенсивность технического риска (отказов) со временем возрастает.

В расчетах безаварийности объектов, накапливающих повреждения в процессе эксплуатации, используются также γ -распределение и логарифмически нормальное распределение.

Для оценки функции риска сложных систем и объектов, состоящих из однотипных элементов, применяется биномиальное распределение.

Пусть N — число элементов с однотипным характером перехода в предельное состояние (однотипным механизмом разрушения) и пусть $P_0(t)$ — функция безопасной работы конкретного элемента. Важно заметить, что выход из строя одного элемента не приводит к изменению величины $P_0(t)$ (схема Бернулли). За предельное состояние всей системы удобно принимать такую ситуацию, регламентируемую условиями эксплуатации и ремонта, при которой из строя выйдет n^* типовых (структурных) элементов. Тогда вероятность достижения предельного состояния за время t может быть найдена по формуле биномиального распределения

$$H_N^{n^*}(t) = \sum_{k=1}^{n^*} C_N^k [1 - P_0(t)]^k P_0(t)^{N-k} \quad (2.9)$$

где

$$C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!}$$

При достаточно большом числе N элементов системы в соответствии с известной теоремой Муавра-Лапласа биномиальное распределение переходит в нормальное с характеристиками:

$$E_n(t) = N[1 - P_0(t)] - \text{математическое ожидание и}$$

$$D_n(t) = N[1 - P_0(t)]P_0(t) - \text{дисперсия.}$$

Пусть предельное состояние определяется из условия $n \geq n^*$, тогда, зная характеристики нормального распределения, можно вычислить технический риск, связанный с переходом в предельное состояние всей системы:

$$H(t) = P[n(t) \geq n^*]. \quad (2.10)$$

Кроме того, для целей системного анализа безопасности и риска могут использоваться так называемые структурные модели, которые представляют в виде блок-схем или графов (например, деревьев событий, деревьев отказов), а исходную информацию задают в виде известных значений вероятностей безаварийной работы элементов, интенсивностей технического риска и т.п.

2.4 Основы расчета надежности технических систем по надежности их элементов.

Расчеты надежности - расчеты, предназначенные для определения количественных показателей надежности. Они проводятся на различных этапах разработки, изготовления и эксплуатации объектов.

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования (предсказания) ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для обоснования предполагаемого проекта, а также для решения организационно-технических вопросов:

- выбора оптимального варианта структуры объекта;
- способа резервирования элементов;
- глубины и методов контроля;
- количества запасных элементов;
- периодичности профилактики.

На этапе испытаний и эксплуатации расчеты надежности проводятся для оценки количественных показателей надежности. Такие расчеты носят, как правило, характер констатации. Результаты расчетов в этом случае показывают, какой надежностью обладали объекты, прошедшие испытания или используемые в некоторых определенных условиях эксплуатации. На основании этих расчетов разрабатываются меры по повышению надежности, определяются слабые места объекта, даются оценки его надежности и влияния на нее отдельных факторов.

Многочисленные цели расчетов привели к большому их разнообразию. На рис. 2.3 изображены основные виды расчетов.

Элементный расчет - определение показателей надежности объекта, обусловленных надежностью его комплектующих частей (элементов). В результате такого расчета оценивается техническое состояние объекта (вероятность того, что объект будет находиться в работоспособном состоянии, средняя наработка на отказ и т.п.).

Расчет функциональной надежности - определение показателей надежности выполнения заданных функций (например, вероятность того, что система подачи топлива в двигатели будет работать заданное время, в заданных режимах эксплуатации с сохранением всех необходимых параметров топливообеспечения). Поскольку такие показатели зависят от ряда действующих факторов, то, как правило, расчет функциональной надежности более сложен, чем элементный расчет.



Рис. 2.3 Классификация расчетов надежности

Выбирая на рис 2.3 варианты перемещений по пути, указанному стрелками, могут быть получены новые виды расчета.

Выбор того или иного вида расчета надежности определяется заданием на расчет надежности. На основании задания и последующего изучения работы устройства (по его техническому описанию) составляется алгоритм расчета надежности, т.е. последовательность этапов расчета и расчетные формулы.

Последовательность расчета надежности системы представлена на рис. 2.4. Ее основные этапы:



Рис. 2.4. Алгоритм расчета надежности

Прежде всего четко следует сформулировать задание на расчет надежности. В нем должны быть указаны:

- 1) назначение системы, ее состав и основные сведения о функционировании;
- 2) показатели надежности и признаки отказов, целевое назначение расчетов;
- 3) условия, в которых работает (или будет работать) система;
- 4) требования к точности и достоверности расчетов, к полноте учета действующих факторов.

На основании изучения задания делается вывод о характере предстоящих расчетов. В случае расчета функциональной надежности осуществляется переход к этапам 4-5-7, в случае расчета элементов (аппаратурной надежности) - к этапам 3-6-7.

Вопросы для самопроверки:

1. Содержание понятия «технический риск» и его отличие от общего толкования понятия «риск».
2. Классификация отказов по причинам возникновения и по причинным схемам возникновения.
3. Множественные отказы – их классификационные признаки и причины возникновения.
4. Критичность отказов.
5. Условия применения методов статистической теории надежности к малосерийным техническим объектам.
6. Статистическая мера надежности (безопасности) технических объектов.
7. Статистическое определение функции риска, среднего ресурса, интенсивности риска.
8. Основные статистические законы распределения функции риска.
9. Цели, задачи и методы расчета надежности технических систем.

3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Обеспечение безопасности – задача, которая требует разрешения (устранения) проблемных ситуаций до того, как они приведут к происшествию.

Первый шаг к ликвидации опасностей состоит в их выявлении, т.е. идентификации. Инженер обязан уметь это делать. Он должен уметь определять *потенциальные* источники опасности, которые еще не вызвали наступления опасных последствий (происшествий), выявлять опасности, которые редко, но уже приводили к серьезным последствиям. Необходимо также исключить из рассмотрения опасности, которые практически нереализуемы.

Оценивание опасности включает определение вероятности ее появления, а также рассмотрение последствий, к которым она может привести (серьезность травм, повреждений систем, наземных объектов и пр. компонентов производства, а также экологический ущерб). В ходе анализа опасностей необходимо разработать проект контрмер (т.е. мер по их устранению либо локализации) по отношению к каждой из установленных опасностей.

При этом следует придерживаться определенной последовательности действий:

- идентификация опасностей, их анализ и оценка
- формирование альтернатив предупредительных мероприятий (контрмер);
- выбор лучшей контрмеры для внедрения (принятие решения).

Инженерные методы оценки опасностей могут быть основаны на качественном и количественном подходах.

Качественный анализ, как правило, предшествует количественному. Идентификация (выявление) опасностей выполняется только на основе качественного их анализа. Обычно анализ проводится по результатам наблюдения за изучаемой системой (например, техническим состоянием ВС, или технологией работы экипажа). Задача - выделить опасности, нуждающиеся в более подробном рассмотрении. В любых видах деятельности, включая выполнение и обеспечение полетов, можно выявить источники повышенной опасности в т.ч. ненадежные компоненты технических систем.

В технике и технологиях встречаются разнообразные источники опасности и если они оказываются связанными со значительными запасами энергии, то опасные точки обнаружить относительно просто. Чаще всего это достигается качественным анализом.

Кроме идентификации опасностей, качественная оценка существенна и при выборе альтернативных путей усовершенствования системы для ликвидации или снижения опасностей. Множество возможностей при выборе

контрмер для обеспечения безопасности обуславливает необходимость применения качественного анализа.

Качественные оценки могут быть даны в более грубой шкале, чем количественные, поскольку человек не в состоянии использовать более четырех - пяти градаций одновременно в решаемой задаче.

Качественные методы анализа допускают использование полуколичественных оценок (больше, меньше), определенное ранжирование, например, по частоте встречающихся событий (никогда, редко, часто) или по оцениваемой сумме ущерба от реализации опасностей. При качественном анализе нередко в качестве меры используются специальные формы, технические стандарты и утвержденные нормы безопасности.

Количественные методы анализа в отличие от качественных эффективны при сравнении сопоставимых опасностей системы в конкретном интервале времени. Недостаточная эффективность количественных методов анализа в других случаях применения объясняется тем, что состояние системы вне этого интервала (будущее состояние системы) неизвестно. Однако это не исключает возможность использования количественных методов для прогнозирования состояния системы.

Применение количественных методов анализа требует выбора критериев, как меры для сравнения количественных показателей исследуемых альтернатив решения проблемы в отношении затрачиваемых ресурсов и получаемых результатов (показатели типа "цена/качество").

Критерий должен отвечать следующим основным требованиям:

- иметь ясный физический смысл;
- соответствовать функциональному назначению системы, подсистемы или элемента;
- учитывать основные детерминированные и случайные факторы, влияющие на безопасность системы;
- быть чувствительным к анализируемым параметрам.

Количественный анализ проводится на основе результатов измерения и прогнозирования последствий воздействия опасности.

При проведении количественного анализа необходимо оценивать полноту и достоверность исходных данных, адекватность и точность используемых схем и моделей, обоснованность принимаемых допущений и зависимость от них получаемых рекомендаций и выводов.

По результатам количественного анализа может быть проведена корректировка перечня возможных опасностей (в т.ч.отказов) и их ранжирование. В перечень, например, должны вводиться критические виды отказов, имеющие высокую вероятность появления, а также отказы, анализ которых затруднен.

Методы анализа, основанные на качественном и количественном подходах и применяемые на различных стадиях проектирования и эксплуатации технических систем, существенно зависят от целей анализа.

Имеется два подхода к анализу причинных связей, приводящих к происшествиям: прямой анализ и анализ с обратным порядком.

Анализ с прямым порядком начинается с определения перечня возможных отказов и развивается в прямом направлении с определением последствий этих событий ("снизу вверх").

Анализ с обратным порядком начинается с определения опасного состояния системы, от которого в обратном направлении прослеживаются возможные причины возникновения этого состояния (развивается "сверху вниз").

В инженерных методах анализа используются оба подхода. В одном из таких методов при построении дерева событий (ДС) используется прямой порядок. Обратный порядок используется для анализа с помощью деревьев отказов (ДО). Для предварительного анализа опасностей (ПАО) используется как прямой подход, так и обратный.

При выполнении анализа в прямом порядке рассматриваются различные последовательности событий, (составляются соответствующие этим последовательностям сценарии), которые могут приводить к опасным состояниям системы. При этом задается вопрос, к какому событию в процессе работы системы (ее элементов) приводит отказ элемента нижеследующего уровня системы, например: "Что случится, если нарушится герметичность трубопровода гидростемы?" При анализе с прямой последовательностью оказываются полезными представленные разработчиками контрольные перечни возможных состояний элементов. Информация, которая должна быть использована при рассмотрении ситуации (сценария), включает сведения о топографии системы и взаимосвязи элементов, а также данные об имевшихся ранее отказах элементов. Эти сведения могут быть полезны и при построении дерева отказов.

Обратный подход, т.е. анализ с помощью дерева отказов (ДО), используется при определении причинных связей, ведущих к данному опасному состоянию системы. Само опасное состояние рассматривается как конечное событие дерева отказов. При этом задается вопрос: по каким причинам может произойти отказ системы (возникнуть опасное состояние), например: "По каким причинам может нарушиться электропитание насоса, подающего топливо в двигатель?" Данное конкретное конечное событие является лишь одним из многих возможных опасных состояний системы, представляющих интерес для анализа; ДО само по себе не выявляет возможных опасных событий в системе. Большие системы могут иметь много самых различных конечных событий и соответствующих им деревьев отказов.

Прямая логика часто называется индуктивной; логика, используемая при обратном порядке анализа, называется дедуктивной.

3.1. Предварительный анализ опасностей

Целью предварительного анализа опасностей (ПАО) является определение топографии (состава) системы, ее части или отдельного элемента, выявление потенциальных опасностей или опасных состояний, которые могут создавать система или ее элементы в ходе работы и которые могут привести к опасным событиям, т.е. определение той части системы, где требуется провести более подробный анализ.

В авиации риск авиационного происшествия, прежде всего, связан с бесконтрольным высвобождением энергии движущегося ВС.

Поскольку одни части системы (воздушного судна, системы «экипаж-ВС» и т.д.) представляют большую опасность, чем другие, в самом начале анализа следует разбить систему или технологический процесс на подсистемы (этапы), для того чтобы выполнить предварительный анализ опасностей в следующей последовательности:

Шаг 1. Выявление потенциальных источников опасностей (системы, части системы или элементов), которые могут вызвать наступление неблагоприятных последствий.

Шаг 2. Определение степени опасности вероятных последствий - возможные пожары, взрывы, разрушение конструкции, утечки горючих веществ и т.д., в т.ч. тех которые маловероятны и ранее не приводили к происшествиям.

Шаг 3. Исключение из списка тех опасностей, проявление которых практически неосуществимо.

Процедура ПАО нередко включает в себя не только предварительное выявление элементов системы или событий, которые могут привести к опасным ситуациям. Задачи анализа расширяются с использованием количественных (формализованных) приемов сравнения, включением в рассмотрение последовательности событий, превращающих опасности в происшествия, а также корректирующих мероприятий (контрмер) для устранения опасности.

Таким образом, результатом ПАО будут: перечень опасностей, причинно-следственные цепочки наступления неблагоприятных последствий и корректирующие воздействия. На этой основе в дальнейшем разворачивается детальный количественный анализ. Другими словами - выявляются приоритеты и виды опасностей, которые следует рассматривать более подробно.

3.2 Методы проверочного листа (CHECK-LIST) и "что будет если ...?" ("WHAT - IF")

Эти методы, способствуют выявлению на практике критических точек системы, способных вызвать отказ системы (элемента) или обусловить аварийное состояние технологического процесса. Эти методы (чаще - их комбинация) относятся к группе качественных методов оценки опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации системы (объекта) действующим требованиям безопасности. Они дают представление

об отклонении от нормы и могут служить основой для более подробных (в т.ч. и количественных) методов анализа, позволяют выработать корректирующие воздействия не только в отношении условий эксплуатации, но и внести коррективы в содержание технологического процесса или модернизировать конструкцию системы. Метод использует промежуточные признаки состояния системы и способствует предотвращению опасных событий.

На рис. 3.1 приводится схема использования промежуточных признаков для предотвращения развития опасной ситуации, приводящей к происшествию. В методическом плане эту схему можно применить к любому технологическому процессу. В каждом конкретном случае используются собственные признаки. Опытный специалист по безопасности может заметить промежуточный признак, который не виден лицу, эксплуатирующему оборудование, так же как и оператор технической системы или технолог могут увидеть отклонения от нормы, которые не понятны специалисту по безопасности. Например, в качестве промежуточного признака может выступать повышенная вибрация, шум в отдельных частях агрегата и др. Форма проверочного листа - перечень вопросов и ответов о соответствии исследуемой системы требованиям безопасности и указания по обеспечению безопасности (контрмеры).

Метод проверочного листа отличается от "Что будет, если...?" более обширным представлением исходной информации и результатов о последствиях нарушений безопасности. Исследование безопасности существенно упростится, если процесс исследования обеспечить вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике сбор информации, проведение анализа и представление результатов. Методы недороги и наиболее эффективны при исследовании безопасности хорошо изученных объектов с известной технологией эксплуатации или объектов с незначительным риском крупных происшествий. Примером тому могут служить карты контрольных проверок, широко используемые в различных технологических процессах при эксплуатации (технической и летной) авиационной техники.



Рис 3.1 Методика использования промежуточных признаков для предотвращения происшествий

Обычно эти методы состоят из двух этапов - общего анализа опасностей и детального. Цели общего анализа опасностей - выявить отклонения, разработать план последующего анализа и количественных оценок промежуточных признаков, определить корректирующие воздействия (контрмеры), которые, в случае необходимости, следует применить немедленно. Может оказаться так, что не возникнет необходимость количественной оценки. В результате общего анализа нередко удается выявить и предложить дешевые и простые контрмеры.

Описание каждой из контролируемых опасностей следует заносить в карту (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Карта общего анализа опасностей

Подготовил _____ Дата _____			
Описание опасности _____			
Участок системы _____			
Серьезность	Вероятность	Затраты	Действия
Вызывающая беспокойство	Небольшая	Допустимые	Несрочные
Предельно допустимая	Умеренная	Предельные	Анализ
Критическая	Значительная	Значительные	Немедленные
Катастрофическая			

На карте проставляется дата, что дает возможность устанавливать хронологию выявления (развития) опасностей, указывается элемент системы, что дает возможность проследить топографию опасностей. Остальная часть разбита на четыре рубрики. Каждая из них представлена несколькими категориями. Категории располагаются так, что те из них, которые требуют наибольшего внимания, находятся внизу перечня. Например, если серьезность опасности катастрофическая, вероятность происшествия - неминуемое, а затраты - номинальные, то необходимо немедленное корректирующее действие.

Детальный анализ проводится по совокупности собранных контрольных карт и состоит в следующем:

1. Опасности систематизируются по месту и времени действия в технологической операции, что позволяет лучше оценить серьезность и продолжительность опасности.

2. Выявляются изначальные причины возникновения опасности, (вместо использования промежуточных признаков выявляемых на этапе общего анализа).

3. Подробно оценивается влияния контрмер, что трудно сделать в общем анализе.

4. Прослеживается влияние каждой контрмеры на все элементы системы с целью выявления таких состояний системы, при которых опасность происшествия возрастает из-за негативного влияния корректирующих мер на работу других элементов системы.

Следующий этап детального анализа - матричное представление результатов анализа. Его цель - представить информацию о затратах и эффективности контрмер в сжатой и логичной форме. При этом информация не обрабатывается, не формализуется, а только лишь представляется в удобном виде для принятия правильного решения. Как правило, производится сравнение альтернативных вариантов контрмер и различных типов опасностей.

В матрице элементы опасности, выявленные в ходе детального анализа, располагаются в порядке важности. Альтернативные варианты указываются в вертикальном столбце и тут же указываются затраты на данную контрмеру. В поле матрицы в местах пересечения опасностей и контрмер указываются символы:

"-" - устранение элемента опасности,

R - снижение опасности,

X - опасность не изменилась,

I - опасность увеличилась.

Экономическая эффективность мероприятий представляет собой дополнительную переменную, определенную в ходе детального анализа.

Матричное представление не гарантирует оптимальность решения, поскольку предназначено только для облегчения процесса принятия управленческого решения за счет упорядочения результатов качественной оценки опасностей.

3.3 Дерево отказов - ДО (fault tree analysis - FTA)

Анализу причин отказов и выработке мероприятий, наиболее эффективных для их устранения, способствует построение дерева отказов и неработоспособных состояний. Такой анализ следует проводить для каждого периода функционирования, каждой части или системы в целом.

Дерево отказов (аварий, происшествий, последствий нежелательных событий и пр.) лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы (как вида проявления опасности) с отказами ее элементов и другими событиями (воздействиями). При анализе возникновения отказа системы (происшествия) событие представляется последовательностью и комбинацией нарушений и неисправностей, и таким образом оно представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания динамики развития опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения (рис. 3.2).

Ценность дерева отказов заключается в следующем:

- анализ ориентируется на нахождение отказов элементов, приведших к отказу системы;
- позволяет показать в явном виде ненадежные места;
- обеспечивается графикой и представляет наглядный материал для той части работников, которые принимают участие в эксплуатации системы;

- дает возможность выполнять качественный или количественный анализ надежности системы;
- метод позволяет специалистам поочередно сосредотачиваться на отдельных конкретных отказах системы;
- обеспечивает наглядное представление о поведении системы и повышает эффективность контроля над ее работой

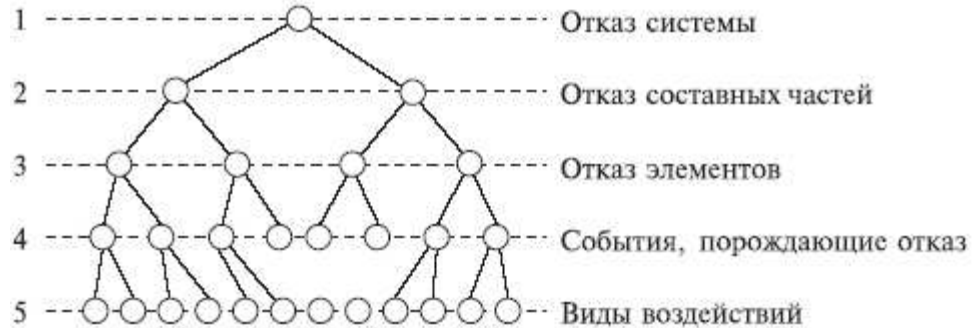


Рис. 3.2. Граф дерева отказов

- помогает дедуктивно выявлять отказы;
- дает конструкторам, пользователям и руководителям возможность наглядного обоснования конструктивных изменений или установления степени соответствия конструкции системы заданным требованиям и анализа компромиссных решений;
- облегчает анализ надежности сложных систем.

Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы (происшествию).

Недостатки дерева отказов состоят в следующем:

- реализация метода требует значительных затрат средств и времени;
- дерево отказов представляет собой схему булевой логики, на которой показывают только два состояния: рабочее и отказавшее;
- трудно учесть состояние частичного отказа элементов, поскольку при использовании метода, как правило, считают, что система находится либо в исправном состоянии, либо в состоянии отказа;
- трудности в общем случае аналитического решения для деревьев, содержащих резервные узлы и восстанавливаемые узлы с приоритетами, не говоря уже о тех значительных усилиях, которые требуются для охвата всех видов множественных отказов;
- требует от специалистов по надежности глубокого знания системы и конкретного рассмотрения каждый раз только одного определенного отказа;
- дерево отказов описывает систему в определенный момент времени (обычно в установившемся режиме), и реальные последовательности событий (переходные процессы) могут быть показаны с большим трудом, иногда это оказывается невозможным. Это справедливо для систем, имеющих сложные контуры регулирования.

Чтобы отыскать и наглядно представить причинную взаимосвязь с помощью дерева отказов, необходимы элементарные блоки, подразделяющие и связывающие большое число событий. В инженерной практике принято использовать два типа блоков: логические символы (знаки) и символы событий.

Логические символы. Логические символы (знаки) связывают события в соответствии с причинами их возникновения. Обозначения логических знаков приведены в табл. 3.2 Логический символ (знак) может иметь один или несколько входов, но только один выход, или выходное событие.

Логический знак "И" (схема совпадения). Выходное событие логического знака И наступает в том случае, если все входные события появляются одновременно.

Правило формулирования событий. События, входные по отношению к операции И, должны формулироваться так, чтобы второе было условным по отношению к первому, третье условным по отношению к первому и второму, а последнее - условным ко всем предыдущим. Кроме того, по крайней мере, одно из событий должно быть связано с появлением выходного события.

Полная характеристика события не требуется. Иногда она даже мешает графической ясности диаграммы. Требуется лишь упорядочить события так, чтобы событие стоящее справа зависело от появления события стоящего слева. Таким образом, появление выходного события будет определяться появлением последнего события в ряду N - событий.

Правило применения логического знака И. Если имеются несколько причин, которые должны появиться одновременно, то обычно, используют операцию И. Входы операции должны отвечать на вопрос: "Что необходимо для появления выходного события?".







Логический знак "ИЛИ" (схема объединения). Выходное событие логического знака ИЛИ наступает в том случае, если имеет место любое из входных событий.

Правило формулирования событий. События, входные по отношению к операции ИЛИ, должны формулироваться так, чтобы они вместе исчерпывали все возможные пути появления выходного события. Кроме того, любое из входных событий должно приводить к появлению выходного события.

Правило не дает способа описания событий, но оно должно выполняться при построении дерева отказа.

Правило применения логического знака ИЛИ. Если любая из причин приводит к появлению выходного события, следует использовать операцию ИЛИ. Входы операции отвечают на вопрос: "Какие события достаточны для появления выходного события?".

Таблица 3.2
Логические символы

Стро-ка	Символ логи-ческого знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь
1		И	Выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно
2		ИЛИ	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий
3		«Запрет»	Наличие входа вызывает наличие выхода тогда, когда происходит условное событие
4		«Приоритетное И»	Выходное событие случается, если все входные события происходят в нужном порядке слева направо
5		«Исключающее ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается одно (но не оба) из входных событий
6		«m из n» (голосования или выборки)	Выходное событие происходит, если случается m из n входных событий

Порядок применения логических знаков И и ИЛИ. Для любого события, подлежащего анализу, вначале рассматриваются все возможные события, являющиеся входами операций ИЛИ, затем входы операций И.

Примеры этих двух логических знаков показаны на рис. 3.3. Событие "возникновение пожара" имеет место, если два события - "утечка горючей жидкости" И "очаг воспламенения вблизи горючей жидкости", происходят одновременно. Последнее (критическое) событие случается, если происходит одно из двух событий - "наличие искры" ИЛИ "открытое пламя".

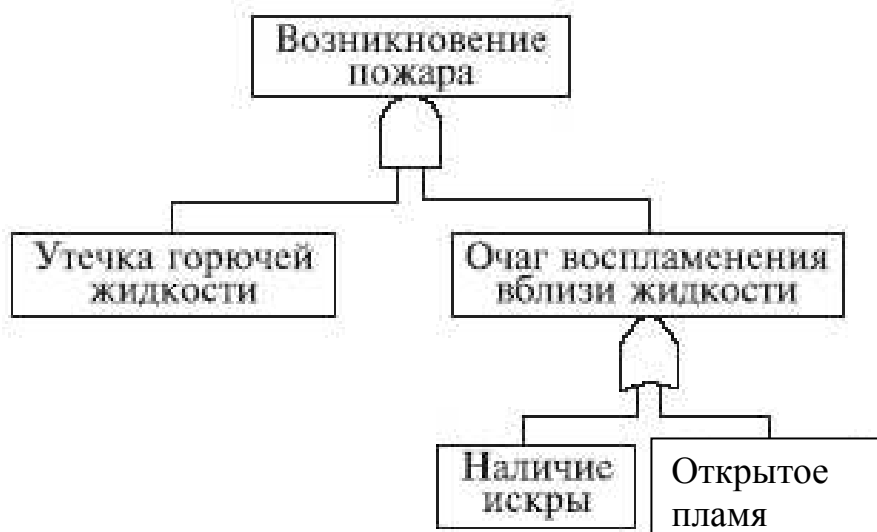


Рис. 3.3 Пример использования логических знаков И и ИЛИ

Причинные связи, выраженные логическими знаками И и ИЛИ, являются детерминированными, так как появление выходного события полностью определяется входными событиями.

Логический знак запрета. Шестиугольник, являющийся логическим знаком запрета и расположенный в строке 3 табл.3.2, используется для представления вероятностных причинных связей. Событие, помещенное под логическим знаком запрета на рис.3.4,а называется входным событием, в то время как событие, расположенное сбоку от логического знака, называется условным событием. Условное событие принимает форму события при условии появления входного события. Выходное событие происходит, если и входное и условное событие имеют место. Другими словами, входное событие вызывает выходное событие с вероятностью (обычно постоянной) появления условного события. Логический знак запрета часто появляется в тех случаях, когда событие вызывается по требованию. Он используется главным образом для удобств и может быть заменен логическим знаком И, как показано на рис. 3.4,б.

Событие на выходе появляется, если события на входе происходят в определенной последовательности (слева направо). Появление событий на входе в другом порядке не вызывает события на выходе. Рассмотрим, например, систему, имеющую основной источник питания и резервный. Резервный источник питания включается в работу автоматически переключателем, когда отказывает основной источник. Питание в системе отсутствует, если:

- 1) отказывают как основной, так и резервный источники;
- 2) сначала выходит из строя переключатель, а затем отказывает основной источник питания.

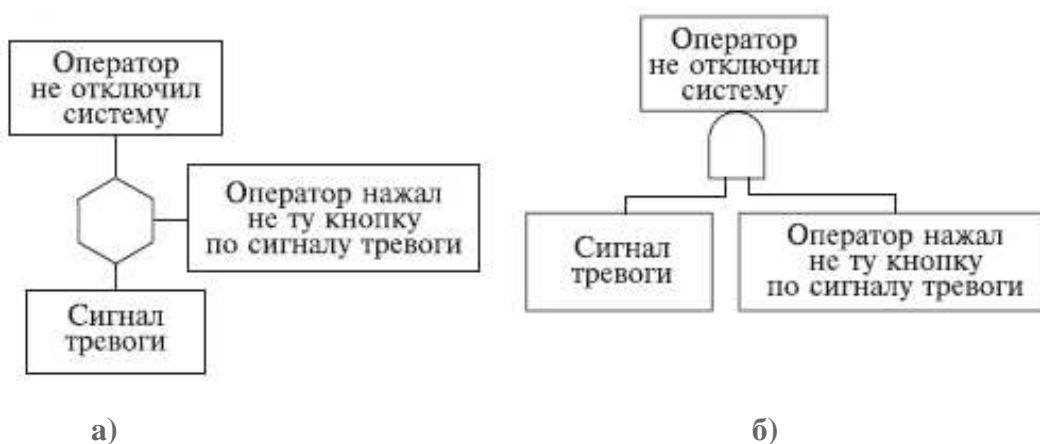


Рис. 3.4 Пример использования логического знака запрета (а) и замены его логическим знаком И (б).

Предполагается, что, если за отказом основного источника следует отказ переключателя, это не приведет к потере питания при условии нормальной работы резервного источника.

Логический символ "приоритетное И" может быть представлен сочетанием "логического И" и знака "запрета", а следовательно, эти логические знаки являются эквивалентом "логического И". Условным

событием для "логического запрета" является то, что входные события логического знака И происходят в определенной последовательности. Эквивалентное представление дерева, изображенного на рис.3.5, показано на рис.3.6.



Рис. 3.5 Пример использования логического знака "приоритетное И"

Логический символ "исключающее ИЛИ" (строка 5 в табл. 2.3) описывает ситуацию, в которой событие на выходе появляется, если одно из двух (но не оба) событий происходят на входе. В качестве примера рассмотрим систему, питаемую от двух генераторов. Частичная потеря мощности может быть представлена элементом "исключающее ИЛИ", показанным на рис. 3.6 "Исключающее ИЛИ" может быть заменено комбинацией логических элементов И и ИЛИ, что проиллюстрировано на рис.3.7. Обычно в дереве отказов избегают использования работоспособных состояний, таких как "генератор работает", так как они в значительной степени усложняют количественный анализ. Разумным подходом является замена логического знака "исключающее ИЛИ" комбинацией знаков И и ИЛИ.

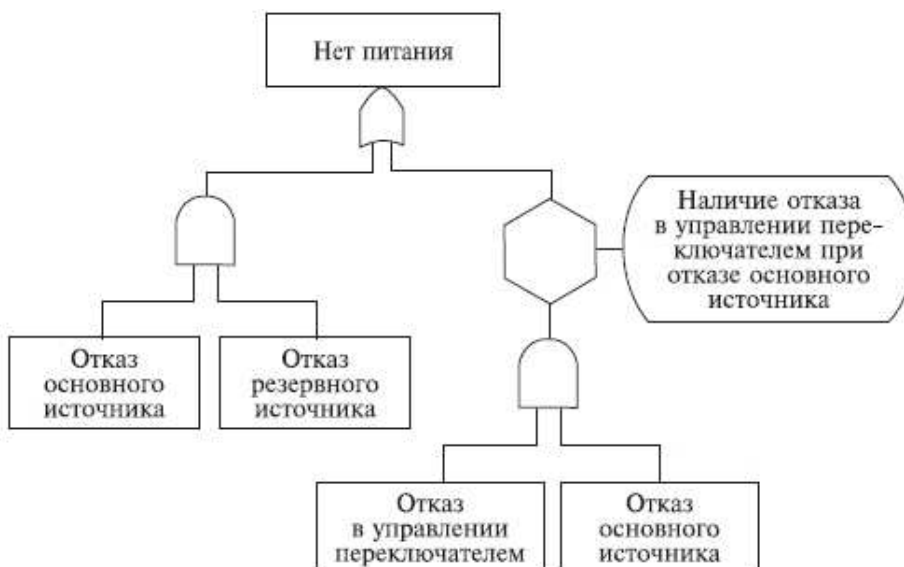


Рис. 3.6. Эквивалентное представление логического знака "приоритетное И"

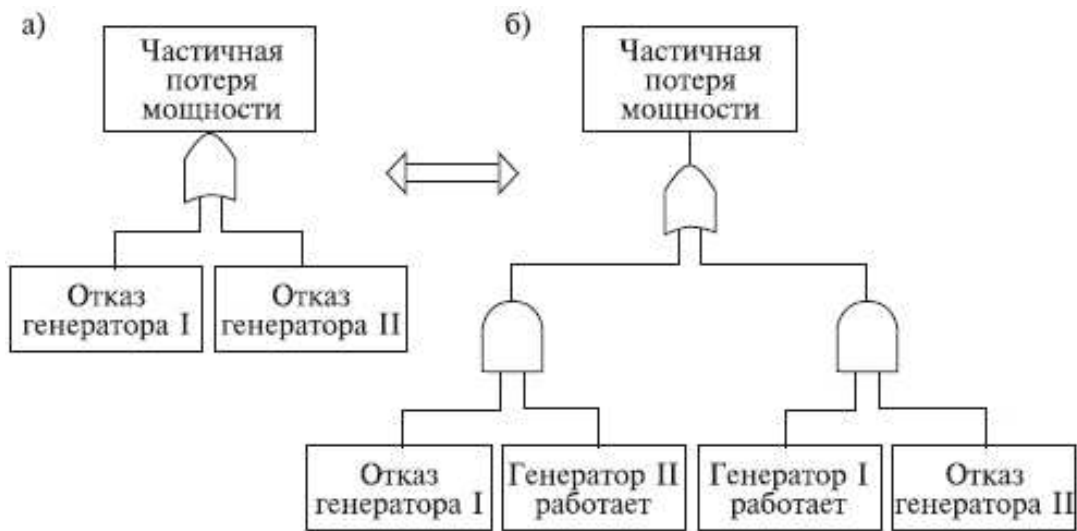


Рис. 3.7 Пример использования логического знака "исключающее ИЛИ" (а) и его эквивалентное представление (б)

Логический знак голосования m из n (строка 6 в табл. 3.2) имеет n событий на входе, а событие на выходе появляется, если происходят по меньшей мере m из n событий на входе. Рассмотрим систему выключения, состоящую из трех контрольных приборов. Предположим, что выключение системы происходит тогда и только тогда, когда два из трех контрольных приборов выдают сигнал о выключении. Таким образом, ненужное выключение системы происходит, если два или большее число контрольных приборов подадут ложный сигнал на выключение, в то время как система находится в нормальном состоянии.

Эту ситуацию можно представить с помощью логического элемента "два из трех", как показано на рис. 3.8, а. Элемент голосования (выбора) эквивалентен комбинации из логических элементов И и ИЛИ, как проиллюстрировано на рис. 3.8,б.



Рис. 3.8,а. Пример применения логического знака "два из трех"

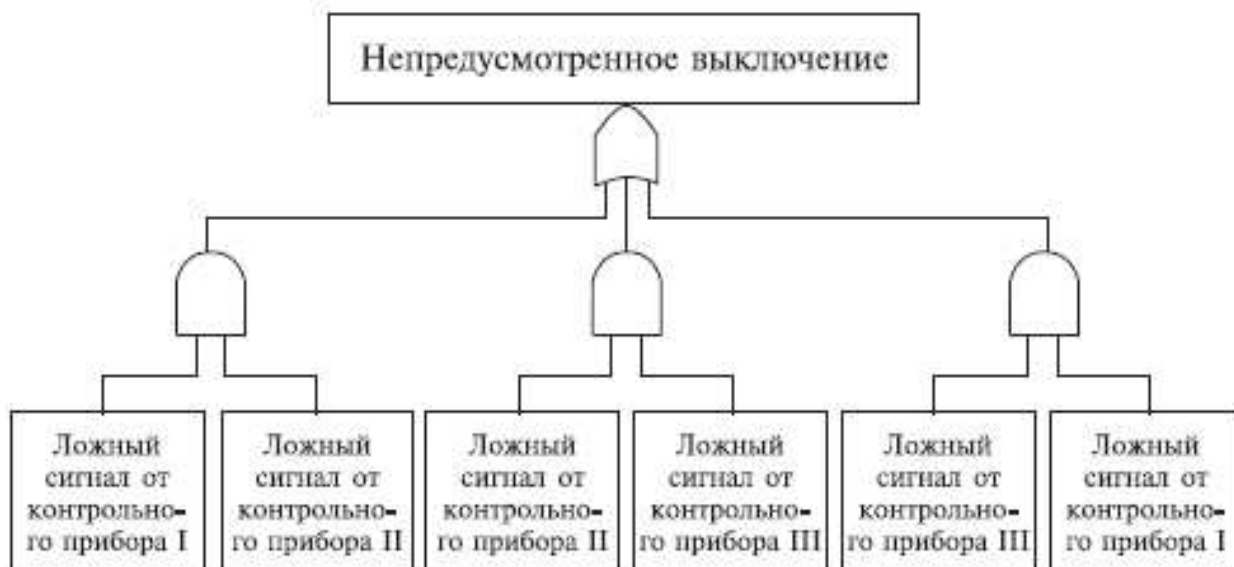


Рис. 3.8,б. Эквивалентное представление логического знака "два из трех"

Можно ввести новые логические знаки для представления специальных типов первичных связей. Однако большинство специальных логических символов можно заменить комбинацией логических И и ИЛИ.

Символы событий. Символы событий приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Строка	Символ события	Содержание события
1		Исходное событие, обеспеченное достаточными данными
2		Событие, недостаточно детально разработано
3		Событие, вводимое логическим элементом
4		Условное событие, используемое с логическим знаком «запрет»
5		Событие, которое может произойти или не произойти
6		Символ перехода

Прямоугольный блок обозначает событие отказа, которое возникает в результате элементарных, исходных отказов, соединенных с помощью логических элементов.



Рис. 3.9. Пример использования символов событий "круг" и "ромб"

Круглый блок обозначает исходный отказ (исходное событие) отдельного элемента (в пределах данной системы или окружающей среды), который определяет таким образом разрешающую способность данного дерева отказов (рис. 3.9).

Для того чтобы получить количественные результаты с помощью дерева отказов, круглые блоки должны представлять события, для которых имеются данные по надежности и они называются исходными событиями. "Отказ клапана из-за износа" может быть примером исходного отказа элемента и помещается в круг.

Ромбы используются для обозначения детально не разработанных событий в том смысле, что детальный анализ не доведен до исходных типов отказов в силу отсутствия необходимой информации, средств или времени. "Происшествие из-за саботажа или диверсии" является примером детально не разработанного события. Часто такие события не учитываются при количественном анализе. Они включаются на начальном этапе, и их присутствие служит показателем глубины и ограничений данного исследования.

Из рис. 3.9 видно, что отказ "избыточный ток в цепи" может быть вызван исходным событием "короткое замыкание" или событием, не разработанным детально - "пульсация напряжения в цепи".

Если есть необходимость в более детальной разработке события "пульсация напряжения в цепи", то следует использовать прямоугольник, для того чтобы показать, что событие не разработано до более элементарного уровня. Затем необходимо вернуться назад и проанализировать, например, такие элементы, как генератор или другие элементы данной схемы.

Символ домик - ожидаемое событие. Иногда желательно рассмотреть различные особые случаи дерева отказов, заведомо предполагая, что одни события происходят, а другие события исключаются из рассмотрения. В таких случаях, целесообразно пользоваться символом, изображенным в строке 5 табл. 3.3 в виде домика. Когда этот символ включают в дерево отказов, предполагают, что данное событие обязательно происходит, и

возникает противоположная ситуация, когда его исключают. Можно также опустить причинные взаимосвязи, расположенные под знаком И, не учитывая событие, заключенное в домике и стоящее на входе этого логического знака. Подобным образом можно аннулировать связи под логическим знаком ИЛИ, присоединив событие, заключенное в домике, непосредственно к этому знаку.

Применение символа в виде домика проиллюстрировано на рис.3.10. Когда событие включается в рассмотрение, предполагается, что контрольный прибор 1 вырабатывает ложный сигнал. Таким образом, получаем логический знак "один из двух", т.е. простой знак ИЛИ с двумя входами II и III. Если событие в домике исключается из рассмотрения, получаем простой логический знак И.

В строке 6 табл. 3.3 помещена пара треугольных символов: треугольник переноса "ИЗ" и треугольник переноса "В", обозначающих два подобных типа причинных взаимосвязей. Обоим треугольникам присвоен одинаковый порядковый номер. Треугольник переноса "ИЗ" соединяется с логическим символом сбоку, а у треугольника переноса "В" линия связи проходит от вершины к другому логическому символу. Треугольники используются для того, чтобы упростить изображение дерева отказов.

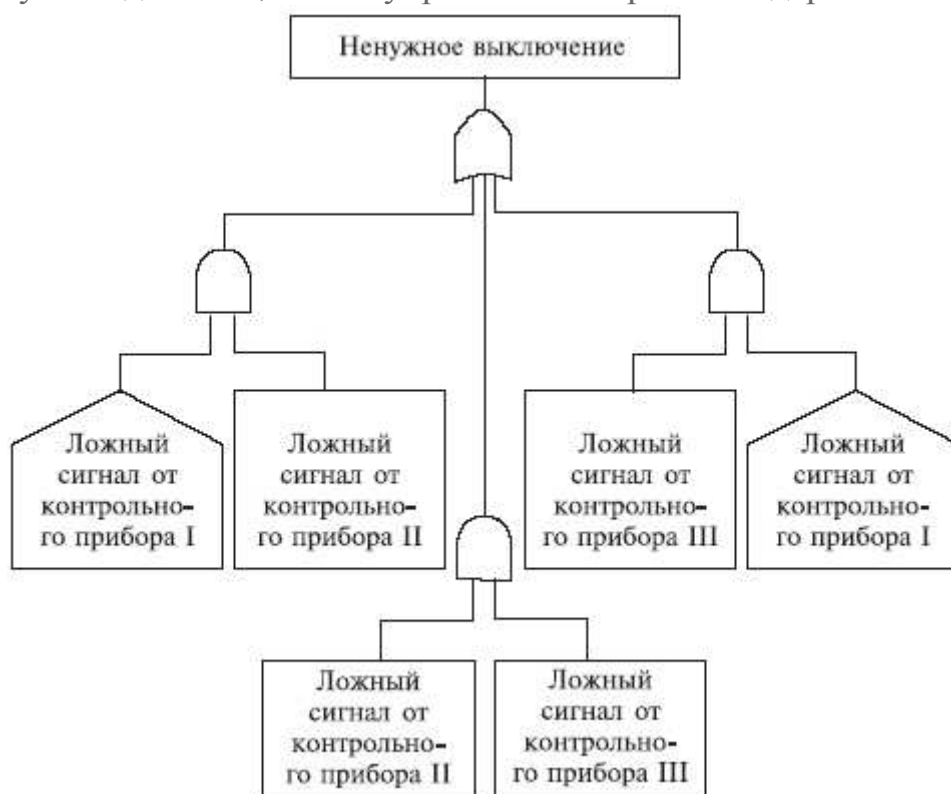


Рис. 3.10. Пример использования символа "домик"

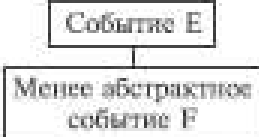
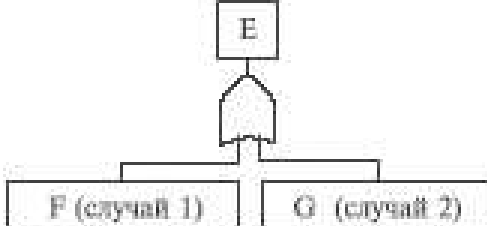
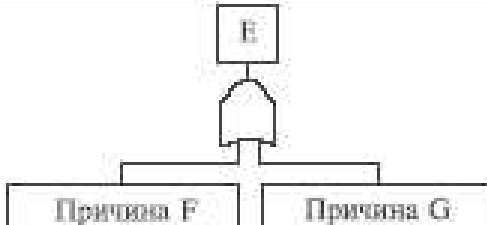
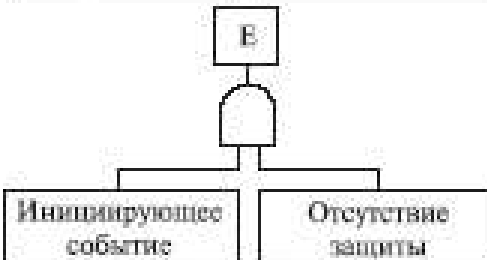
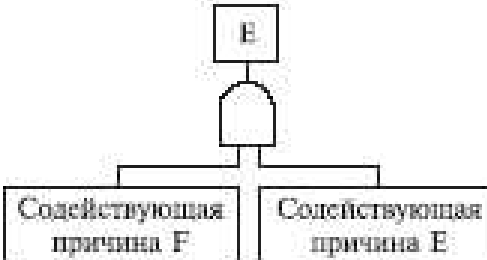

Эвристические правила. Ниже описываются некоторые эвристические правила, используемые для построения дерева отказов. Эти правила сведены в табл. 3.4 и проиллюстрированы на рис.3.11 и рис.3.12, согласно которым следует:

- 1) Заменять абстрактные события менее абстрактными, например событие "электродвигатель работает слишком долго" на событие "ток через электродвигатель протекает слишком долго".
- 1) Разделять события на более элементарные, например событие "взрыв бака" заменять на событие "взрыв за счет переполнения" или "взрыв в результате реакции, вышедшей из-под контроля".
- 2) Точно определять причины событий, например событие "вышедшее из-под контроля" заменять на событие "избыточная подача" или "прекращение охлаждения".
- 3) Связывать инициирующие события с событием типа "отсутствие защитных действий", например событие "перегрев" заменять на событие "отсутствие охлаждения" в сочетании с событием "нет выключения системы".
- 4) Отыскивать совместно действующие причины событий, например событие "пожар" заменять на два события "утечка горючей жидкости" и "искрение реле".
- 5) Точно указывать место отказа элемента, например событие "нет напряжения на электродвигателе" заменять на событие "нет тока в кабеле".
- 6) Детально разрабатывать отказы элементов в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.12. Проследивая события в обратном направлении в поисках более элементарных событий, обычно можно обнаружить отказы отдельных элементов. Эти события, в свою очередь, могут быть разработаны по схеме, показанной на рис. 3.12.



Рис. 3.11. Разработка отказа элемента (событие "состояние элемента")

Таблица 3.4

Строка	Принцип построения	Соответствующая часть дерева отказа
1	Эквивалентное, но менее абстрактное событие	 <pre> graph TD E[Событие E] --- F[Менее абстрактное событие F] </pre>
2	Более детальное разбиение события	 <pre> graph TD E[E] --- G1{ } G1 --- F1[F (случай 1)] G1 --- G2[G (случай 2)] </pre>
3	Явно выраженные причины события	 <pre> graph TD E[E] --- G2{ } G2 --- F[Cause F] G2 --- G[Cause G] </pre>
4	Иницирующее событие при отсутствии защитных действий	 <pre> graph TD E[E] --- G3{ } G3 --- I[Иницирующее событие] G3 --- O[Отсутствие защиты] </pre>
5	Совместно действующие причины	 <pre> graph TD E[E] --- G4{ } G4 --- F[Содействующая причина F] G4 --- E2[Содействующая причина E] </pre>
6	Точное указание отказавшего элемента	 <pre> graph TD E[E] --- G5{ } G5 --- G6{ } G6 --- O[Отказ элемента] G6 --- O2[Отсутствие защитных действий] G5 --- F[Событие F] </pre>

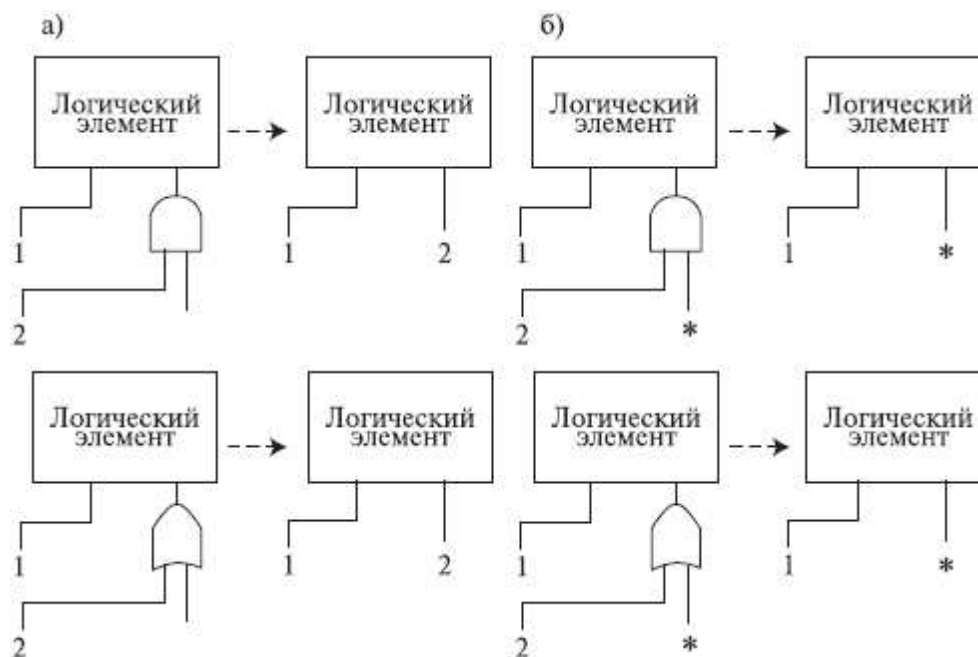


Рис. 3.12. Порядок упрощения с помощью ветви, имеющей нулевую вероятность (а) и очень высокую вероятность (б)

Если событие, заключенное в прямоугольнике, может быть детально разработано по схеме, показанной на рис. 3.12, то его называют "состояние элемента". В противном случае событие называют "состояние системы". Для события "состояние системы" нельзя выделить определенный элемент, который является единственной причиной данного события. Сразу несколько элементов или даже отдельные подсистемы определяют это событие. Такие события следует разрабатывать, руководствуясь первыми шестью правилами, до тех пор, пока не выявятся события "состояние элемента".

8. Упрощать дерево отказов, как в процессе его построения, так и после того, как оно построено путем упрощения ветвей, имеющих нулевую или очень высокую вероятность появления событий.

3.3.1. Процедура проведения анализа.

Суть метода заключается в построении структурной схемы - дерева отказов системы и ее анализе. Основной принцип построения дерева отказов заключается в последовательной постановке вопроса, по каким причинам может произойти отказ системы или элемента. Анализ осуществляется "сверху вниз".

Обычно предполагается, что инженер, прежде чем приступить к построению дерева отказов, тщательно изучает строение системы. Поэтому описание системы должно быть частью документации, составленной в ходе анализа ДО.

Процедура построения дерева отказов включает, как правило, следующие этапы:

1. Определение критического (завершающего) события в рассматриваемой системе.

2. Тщательное изучение предполагаемого режима использования системы и ее реального поведения .

3. Проведение углубленного анализа работы системы с целью выявления событий, способных привести к отказу системы.

4. Собственно построение дерева отказов. Эти события должны определяться в терминах независимых первичных отказов.

Чтобы получить количественные оценки завершающего нежелательного события (происшествия), необходимо задать вероятности отказов, их интенсивность, интенсивность восстановлений и другие показатели, характеризующие первичные события, при условии, что эти события дерева отказов не являются избыточными (т.е. неприводящими к происшествию).

Более детальный анализ предусматривает выполнение таких процедур, как определение небезопасных границ системы, построение дерева неисправностей, качественная оценка, количественная оценка.

Основой построения дерева отказов является символическое представление существующих в системе условий - событий, способных вызвать отказ.

При построении ДО учитывают и используют следующие основные виды событий:

- результирующее событие (происшествие) - нежелательное событие (конкретный вид отказа системы из перечня возможных отказов, приводящий к недопустимому ущербу), анализ которого проводится;

- промежуточное событие - сложное событие, возникающее при определенных условиях и являющееся одной из возможных причин результирующего события. Его выявляют в ходе анализа причин возникновения результирующего события и подвергают дальнейшему анализу;

- базовое событие - простое исходное событие, означающее первичный отказ, которое дальше не анализируется в связи с определенностью и наличием достаточного числа данных;

- неполное событие - недостаточно детально исследованное событие, которое дальше не анализируется, из-за невозможности или отсутствия необходимости проведения его анализа;

Исходными событиями при построении ДО являются перечни возможных видов событий - отказов и их причин, нерасчетные значения внешних воздействующих факторов и др. Соответственно, каждому виду события и оператора присваиваются символы, которые используются для графического построения дерева отказов. Логические символы связывают события в соответствии с их причинными взаимосвязями.

Построение дерева и анализ исследуемого объекта (системы) производят следующим образом.

1. Определяют аварийное (предельно опасное, конечное) событие - происшествие, которое образует вершину дерева. Данное событие четко определяют, устанавливают условия его появления, дают признаки для его

распознавания. Определяют возможные первичные и вторичные отказы, которые могут вызвать аварийное событие, рассматривают их комбинации.

2. Используя стандартные символы событий и логические символы (табл. 3.2-3.4), строят ДО в соответствии со следующими правилами:

а) конечное (аварийное) событие помещают вверху (уровень 1);

б) дерево состоит из последовательности событий, которые ведут к конечному событию;

в) последовательности событий образуются с помощью логических знаков И, ИЛИ и др.;

г) событие, определяемое логическим знаком помещают в прямоугольнике, а текстовое описание события вписывают в этот прямоугольник;

д) первичные события (исходные причины) располагают внизу.

3. Определяют минимальные аварийные сочетания и минимальную траекторию прохождения отказа для построенного дерева. Первичные и неразлагаемые события соединяются с событиями первого уровня маршрутами (ветвями). Сложное дерево имеет различные наборы исходных событий, при которых достигается событие в вершине. Эти наборы называются аварийными сочетаниями. Минимальным аварийным сочетанием (МАС) называют наименьший набор исходных событий, приводящих к событию в вершине. Полная совокупность аварийных сочетаний конкретного дерева представляет собой все варианты сочетаний первичных отказов, при которых может возникнуть происшествие (отказ системы в целом).

4. На уровне качественных и количественных оценок исследуют дерево отказов с использованием найденных минимальных аварийных сочетаний. Качественный анализ заключается в сопоставлении различных маршрутов и начальных условий с целью определения критических (наиболее опасных) путей, приводящих к происшествию. При количественном исследовании рассчитывают вероятность происшествия в течение заданного интервала времени при всех возможных маршрутах распространения отказов.

5. Разрабатывают рекомендации по введению изменений в конструкцию и технологию эксплуатации объекта, системы контроля и управления для улучшения показателей его безаварийности.

В зависимости от конкретных целей анализа, деревья могут быть построены для любых видов отказов - первичных, вторичных и инициированных отказов.

Случай первичного отказа. Отказ элемента называется первичным, если он происходит в расчетных условиях функционирования системы. Построение ДО на основе учета лишь такого рода отказов не представляет большой сложности, так как дерево строится только до той точки, где идентифицируемые первичные отказы элементов вызывают отказ системы.

ПРИМЕР. Требуется построить ДО для простой системы - электросети, выключателя и электрической лампочки. Считается, что завершающим событием является отсутствие освещения.

Дерево отказов для этой системы показано на рис.3.13. Основными (первичными) событиями ДО являются (1) отказ источника питания E1, (2) отказ предохранителя E2, (3) отказ выключателя E3 и (4) перегорание лампочки E4.

Промежуточным событием является прекращение подачи энергии. Исходные отказы представляют собой входы схем ИЛИ: при наступлении любого из четырех первичных событий осуществляется завершающее событие - отсутствие освещения.

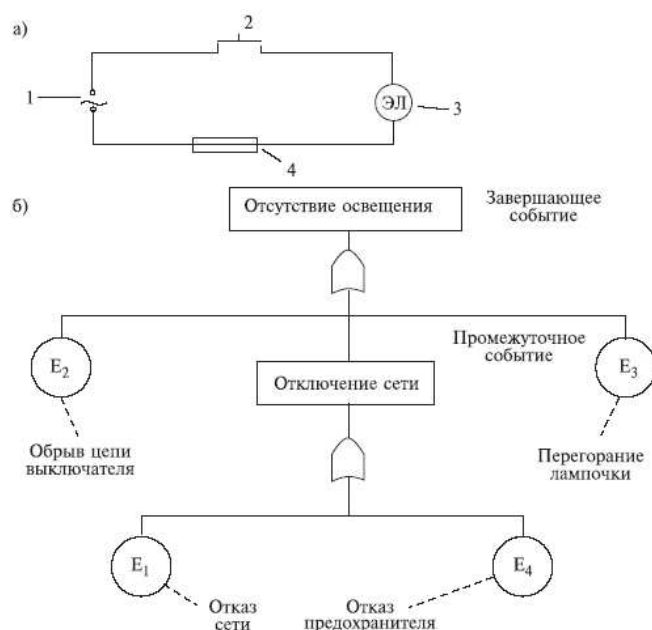


Рис. 3.13. Электрическая схема системы "сеть - электрическая лампочка" (а) и дерево (б) для случая первичных отказов: 1 - сеть; 2 - выключатель; 3 - электролампа; 4 - предохранитель

Случай вторичного отказа. В этом случае требуется более глубокое исследование системы. При этом анализ выходит за рамки рассмотрения системы на уровне отказов ее основных элементов, поскольку вторичные отказы вызываются неблагоприятным воздействием внешних условий или чрезмерными нагрузками на элемент системы в процессе ее эксплуатации.

ПРИМЕР. На рис. 3.14 показаны электрическая схема системы и простое дерево отказов с завершающим событием "отказ двигателя". Конечное событие может быть вызвано тремя причинами: первичный отказ электродвигателя, вторичный отказ и ошибочная команда (инициированный отказ).

Первичный отказ - это отказ самого двигателя (характеристики которого соответствуют техническим условиям), возникающий в результате естественного старения. Дерево отображает такие первичные события, как отказ выключателя (отсутствие замыкания) К, неисправности внутренних цепей обмотки двигателя L, сети приемника питания М и предохранителя N.

Вторичные отказы возникают из-за причин, которые лежат за пределами, заданными техническими условиями, таких как:

- неправильное техническое обслуживание X (например, некондиционная смазка подшипников электродвигателя);
- аномальные условия эксплуатации Y, это может быть переработка (например, выключатель остался включенным после предыдущего запуска, что вызвало перегрев обмотки электродвигателя, который, в свою очередь, привел к короткому замыканию или обрыву цепи);
- воздействие на условия работы параметров внешней окружающей среды Z (например, внешние условия: повышенная температура наружного воздуха, высокая влажность и т.п.).

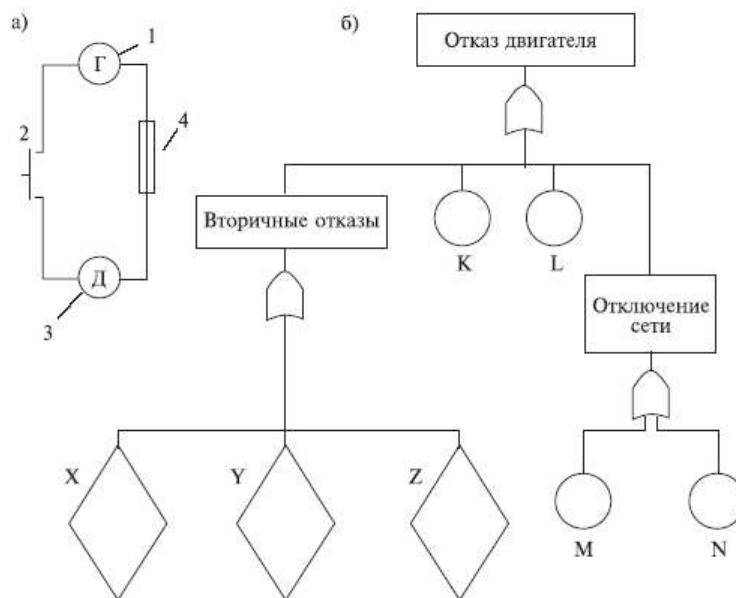


Рис. 3.14. Электрическая схема системы "генератор -двигатель" (а) и дерево (б) для случая вторичных отказов: 1 - генератор; 2 - выключатель; 3 - электродвигатель; 4 – предохранитель

Вторичные отказы изображаются прямоугольником как промежуточное событие. Случай инициированных отказов. Подобные отказы возникают при правильном использовании элемента системы, но не в установленное время. Другими словами, инициированные отказы - это сбои операций координации событий на различных уровнях дерева неисправностей: от первичных отказов до завершающего события. Типичным примером является не приведение в действие оператором какого-либо устройства управления (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Случай инициированного отказа: внесенная неисправность - "не поступает электроэнергия"

3.4 Дерево событий - ДС (event tree analysis - ЕТА)

Дерево событий (ДС) используется для анализа последовательности (вариантов, сценариев) развития отказа системы (происшествия), включающей сложные взаимосвязи между техническими элементами обеспечения безопасности. Вероятность каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения вероятности первичного события на вероятность конечного события.

ПРИМЕР. Допустим, в ходе выполнения ПАО было выявлено, что критической частью системы М, создающей риск происшествия, является подсистема N. Анализ начинается с просмотра последовательности возможных событий при отказе элемента подсистемы N, (инициирующего события), вероятность наступления которого равна P_A (рис. 3.16), т.е. конечное событие (происшествие) начинается с события А - отказа (разрушения, поломки) элемента подсистемы N.

Далее анализируются возможные варианты развития событий (В, С, D и E), которые могут последовать за разрушением этого элемента. На рис. 3.16 изображено дерево состояний, отображающее возможные альтернативы развития отказа А. На первой ветви рассматривается состояние системы при разрушении по причине I. Далее подвергается анализу причина II и т.д.

При использовании в анализе двоичной системы счисления, т.е. в предположении, что элементы системы либо выполняют свои функции (работоспособны), либо отказывают (неработоспособны), число потенциальных отказов равно $2^n - 1$, где n - число элементов подсистемы N. На практике исходное дерево событий можно упростить с помощью инженерной логики и свести к более простому дереву, изображенному в нижней части рис. 2.19.

В первую очередь представляет интерес вопрос о работоспособности подсистемы N. Вопрос заключается в том, какова вероятность P_B отказа этой подсистемы и какое действие ее отказ оказывает на другие подсистемы. Например, если к подсистеме нет подвода энергии, фактически никакие действия, предусмотренные на случай происшествия с использованием этой подсистемы, не могут производиться. В результате упрощенное дерево событий не содержит выбора в случае отсутствия подвода энергии (т.е. управления), и может произойти происшествие, вероятность которого равна $P_A(P_B)$.

В случае, если отказ в подводе энергии происходит из за повреждения коммуникаций (энергопровода) системы, вероятность P_B следует считать как условную вероятность, чтобы учесть эту зависимость. Если подвод энергии обеспечивается, то последующие варианты анализа дерева событий зависят только от состояния подсистемы N. Система защиты подсистемы N может работать или не работать, и ее отказ с вероятностью P_{C1} ведет к последовательности событий, изображенной на рис. 3.16

Рассмотрев все варианты дерева событий, можно получить спектр возможных ущербов и соответствующие вероятности для различных последовательностей развития происшествия (рис. 3.16).

3.5 Дерево решений

Дерево решений является разновидностью дерева событий. В дереве событий работоспособные состояния системы не рассматриваются, так что сумма вероятностей всех событий не равна единице. В дереве решений все возможные состояния системы необходимо выразить через состояния элементов. Таким образом, все состояния системы взаимно увязаны, и их вероятность в сумме должна равняться единице. Деревья решений могут использоваться, если отказы всех элементов независимы или имеются элементы с несколькими возможными состояниями, а также есть односторонние зависимости. Они не могут использоваться при наличии многосторонних зависимостей.

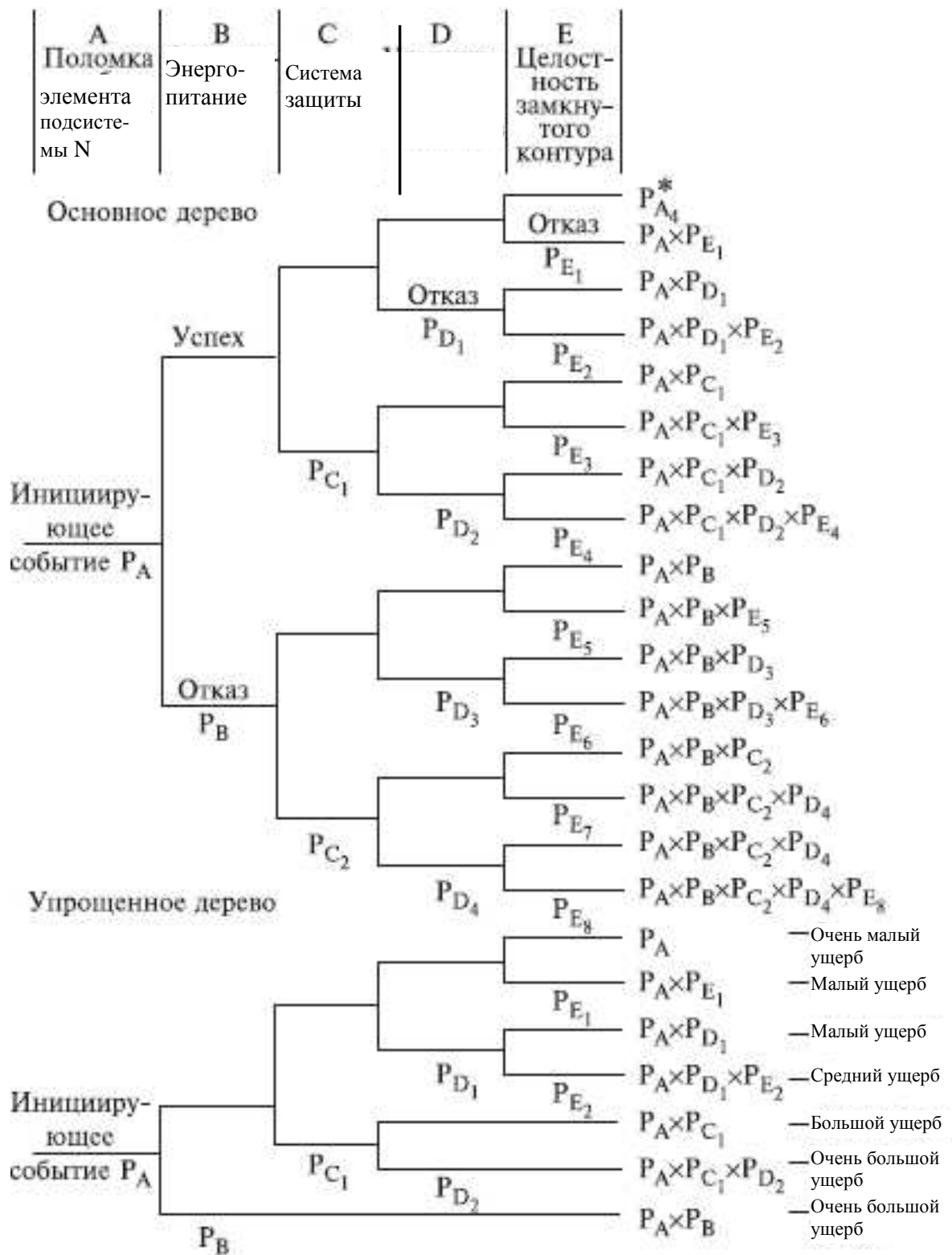


Рис. 3.16. Дерево событий

ПРИМЕР. На рис. 3.17 показана система последовательно соединенных элементов, которая включает насос и клапан, имеющие соответственно вероятности безотказной работы 0,98 и 0,95, а также приведено дерево решений для этой системы. Следует отметить, что согласно принятому правилу верхняя ветвь соответствует желательному режиму работы системы, а нижняя - нежелательному. Дерево решений читается слева направо.

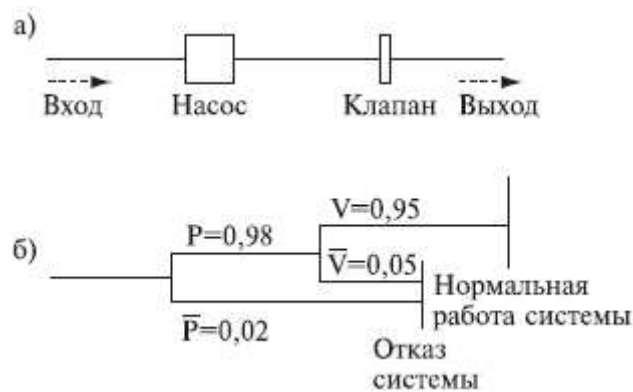


Рис. 3.17. Принципиальная схема (а) и дерево решений (б) для двухэлементной системы

Если насос не работает, система отказывает независимо от состояния клапана. Если насос работает, с помощью второй узловой точки изучается вопрос, работает ли клапан.

Вероятность безотказной работы системы: $0,98 \cdot 0,95 = 0,931$. Вероятность отказа: $0,98(0,05 + 0,02) = 0,069$, а суммарная вероятность двух состояний системы равна единице.

Этот результат можно получить другим способом с помощью таблицы решения, которая для насоса и клапана имеет вид:

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

3.6 Логический анализ

Логический анализ опасностей основан на понятиях булевой алгебры (алгебры логики).

В алгебре логики переменные, обозначаемые заглавными буквами, имеют, как правило, смысл некоторых событий или факторов. Например, можно обозначить символом А событие, состоящее в повреждении какой-то части технической системы. Если это происходит, то мы говорим, что $A=T$ или что А истинно. Если это событие не происходит, говорим, что $A=F$ или что А ложно. Такие высказывания справедливы для некоторого определенного интервала времени и вероятности, связанной с появлением события. Переменные в алгебре логики принимают два значения: истина или ложь (появление или неоявление). Аналогично и функции, образуемые этими переменными, принимают два значения в зависимости от комбинации логических переменных. Функции образуются с помощью операций И (логическое умножение), ИЛИ (логическое сложение) и НЕ (логическое отрицание). Смысл этих операций определяется таблицами истинности.

Истинное значение функции определяется значениями переменных, входящих в нее. Например, пусть функция А имеет вид

$$A = BC + DE.$$

Чтобы определить истинное значение А, надо знать истинные значения четырех переменных. Вычисление значения отдельных членов функции ведется в определенной последовательности: (1) НЕ, (2) И и (3) ИЛИ. Таким образом, если, например В=ЛОЖЬ, С=ИСТИНА, D=ИСТИНА и E=ЛОЖЬ, то, используя таблицы, получим:

$$A = FT + TF = FT + T = F + T = T.$$

X	Y	XY (X И Y)
T	T	T
T	F	F
F	T	F
F	F	F

X	Y	X+Y (X ИЛИ Y)
T	T	T
T	F	T
F	T	T
F	F	F

X	\bar{X} (НЕ Y)
T	F
F	T

Порядок вычисления операций может быть изменен применением скобок, причем выражения внутренних скобок вычисляются первыми. Например,

$$A = B() = F() = F() = F = FT = F.$$

При определенных навыках такие вычисления производятся достаточно быстро.

Особый интерес представляет применение алгебры логики для анализа вероятных опасностей.

ПРИМЕР 1. В системе имеется привод, имеющий защитное устройство, которое в некоторых режимах работы системы должно отключаться. В режиме работы системы силовые элементы привода испытывают большие нагрузки. Можно ожидать, что они изнашиваются и периодически разрушаются. Посторонние предметы, например частицы от разрушения другого оборудования, попадая в привод, также могут привести к его повреждению. В этом случае имеющееся защитное устройство, в зависимости от обстоятельств, может не обеспечить защиту жизненно важных элементов системы.

Логическими переменными в этом случае будут:

A - защита привода отсутствует;

B силовой элемент изнашивается и разрушается;

C - технологические частицы приводят к разрушению силовых элементов привода;

D - защита достаточна, чтобы защитить жизненно важные элементы системы в любом случае.

X - соответствует возникновению (наличию) опасной ситуации.

Логическая функция примет вид

$$X = A + B + C \text{ или } X = A + (B + C).$$

Для предотвращения опасной ситуации нужно, чтобы величина X не стала истиной. Это имеет место, когда A ложно, D истинно или и B и C ложны одновременно.

В следующем примере с использованием принципов алгебры логики истинное событие отождествляется с единицей, а ложное с нулем.

ПРИМЕР 2. При обслуживании стабилизатора самолета Ту-154 проводились работы с использованием автолифта. Техники, работали на высоте 3 м от поверхности земли. В зоне работы автолифта проводились работы с использованием стремянки. При

маневрировании автолифта, произошло столкновение со стремянкой. Четыре человека были травмированы. Очевидцы события, пострадавшие и должностные лица дали показания, на основании которых были выделены основные факторы произошедшего:

A – стремянка удовлетворяла техническим условиям (ТУ) и правилам техники безопасности (ПТБ);

B – водитель автолифта был нездоров;

C – нагрузка на стремянку удовлетворяла ТУ и ПТБ;

D – автолифт был неисправен;

E – в люльку автолифта был помещен слишком тяжелый груз;

F – в момент опускания люльки производился поворот стрелы;

G – перед началом работы водитель автолифта осмотрел его;

H – перед началом работы руководитель работ осмотрел стремянку и место проведения работ.

Анализ причин события (отказа) при помощи булевых функций выполняют следующим образом. Установив факторы события, составляют матричную форму (табл. 3.5) для его описания. Если очевидец утверждает, что данный фактор имел место, в соответствующую графу заносят "1", если нет, то "0", при отсутствии достоверной информации делают прочерк "-". Затем составляют функцию алгебры логики (Фал). Для каждого очевидца определяют свою конъюнкцию. Если фактор имел место, то букву записывают в утвердительном значении; если нет – в виде инверсий; при "-" букву опускают. Полученную функцию минимизируют перебором всех эквивалентных формул (либо применяя соответствующие методы) и подвергают анализу, при котором устанавливают основные причины события и сопутствующие им факторы.

Таблица 3.5

Подготовка данных для составления Фал

Очевидец	Фактор							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	0	—	1	—	—	—	1
2	1	—	1	1	0	—	—	—
3	—	1	—	0	—	1	—	—
4	0	0	—	1	—	—	1	0
5	—	0	—	1	—	—	—	0
6	0	0	—	1	—	1	—	—
7	—	0	—	—	—	0	—	1

Искомую Фал, для которой X – произошедшее событие, запишем в виде

$$X = ADH + ACD + BF + DG + D + DF + H.$$

Минимальная формула будет иметь вид

$$X = BF + D + ACD + FH.$$

Если событие произошло, то X=1, т.е. имеет место одна из четырех альтернатив:

- водитель автолифта не был здоров, автолифт был исправен, был поворот стрелы в момент опускания люльки;

- водитель автолифта был здоров, автолифт был неисправен;

- стремянка удовлетворяла ТУ и ПТБ, нагрузка на нее удовлетворяла ТУ и ПТБ, груз был установлен на стремянку в соответствии с требованиями ПТБ;

- автолифт был исправен, был поворот стрелы в момент опускания груза, руководитель работ осмотрел стремянку перед началом работы.

Из примеров видно, что алгебра логики не отвечает на поставленный вопрос о том, какой первичный отказ привел к происшествию, но дает возможность сократить количество рассматриваемых подсистем и поставить задачу так, что решение может быть принято при минимальной трудоемкости последующего анализа.

3.7 Контрольные карты процессов

Контрольные карты используются для обнаружения отклонений (нарушений) технологического процесса по измеренным значениям его выходных переменных, на основе сопоставления переменных или их статистических характеристик с допустимыми (контрольными) пределами. В качестве результатов измерений, заносимых в карты, могут служить любые переменные. Это могут быть уровни потребления электрической мощности, давления, температуры, вибрации и т.д.

Построение контрольных карт, в частности, определение контрольных пределов, основано на методе проверки статистических гипотез.

Изменения выходной переменной y объекта на установившихся режимах работы могут быть вызваны, во-первых, случайными внешними и внутренними возмущающими воздействиями, характерными для нормальной эксплуатации, во-вторых, различного рода нарушениями в работе систем (подсистем, элементов) и ошибочными действиями оператора.

Если переменная y изменяется под влиянием причин только первого вида, то процесс находится под статистическим контролем или в статистически подконтрольном состоянии, т.е. случайные колебания y подчиняются одному и тому же закону распределения вероятности. В случае же появления причин второго вида, процесс выходит из под контроля (находится вне статистического контроля).

На практике наиболее распространены контрольные карты средних значений измеряемых переменных (карта \bar{y}), средних геометрических, накопленных сумм, индивидуальных значений y , медиан y_m , комбинированные контрольные карты (\bar{y}, σ_y), (y, R_y), (y_m, R_y) и др. (где σ_y , R_y - соответственно среднее квадратическое отклонение и размах распределения случайной величины y).

Применяемые в картах числовые характеристики случайной величины y рассчитывают по измеренным значениям $y_{i,1}; y_{i,2}; \dots; y_{i,N}$ в последовательные моменты времени $t_i, i=1,2 \dots$ на основе методов математической статистики.

На рис. 3.18 и 3.19 приведены карта средних значений и карта (\bar{y}, R_y). Точками отмечены средние значения \bar{y}_i в моменты времени $t_i, i=1,2,\dots; m_y$ - математическое ожидание распределения случайной величины y . Процесс находится под статистическим контролем, т.е. соответствует нормальному функционированию, если значения \bar{y}_i находятся между нижней $U_{гр}^H$ и

верхней $U_{гр}^B$ контрольными границами (пределами). Линии $U_{гр}^H$ и $U_{гр}^B$ проводят с учетом предполагаемого (допустимого) распределения y или вводят с помощью непараметрического анализа. Когда значение \bar{y}_i выходит за контрольные пределы, это свидетельствует о появлении аномальных изменений в технологическом процессе.

Построение контрольных карт, в частности определение контрольных пределов, основано на методе проверки статистических гипотез.

Различают нулевые и альтернативные гипотезы. К нулевым гипотезам χ_0 относят предположения о равенстве нулю статистических показателей при отсутствии различия между сравниваемыми параметрами, например между оценкой среднего \bar{y} и значением математического ожидания m_y распределения случайной величины y . Незначительные отклонения \bar{y} от m_y при правильной гипотезе χ_0 могут быть вызваны случайными колебаниями в выборках.

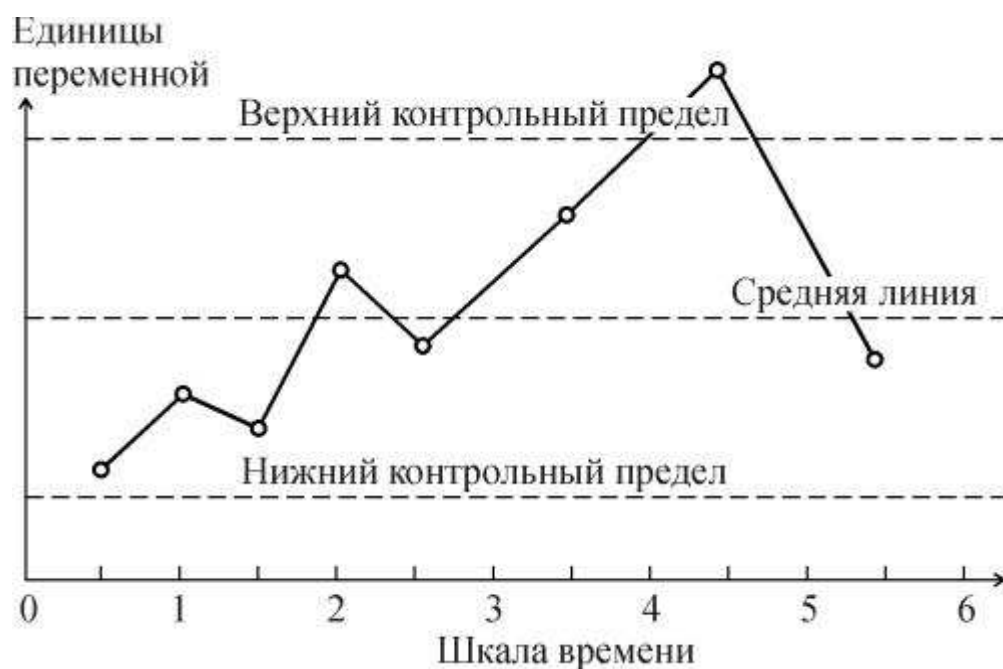


Рис. 3.18 Пример контрольной карты

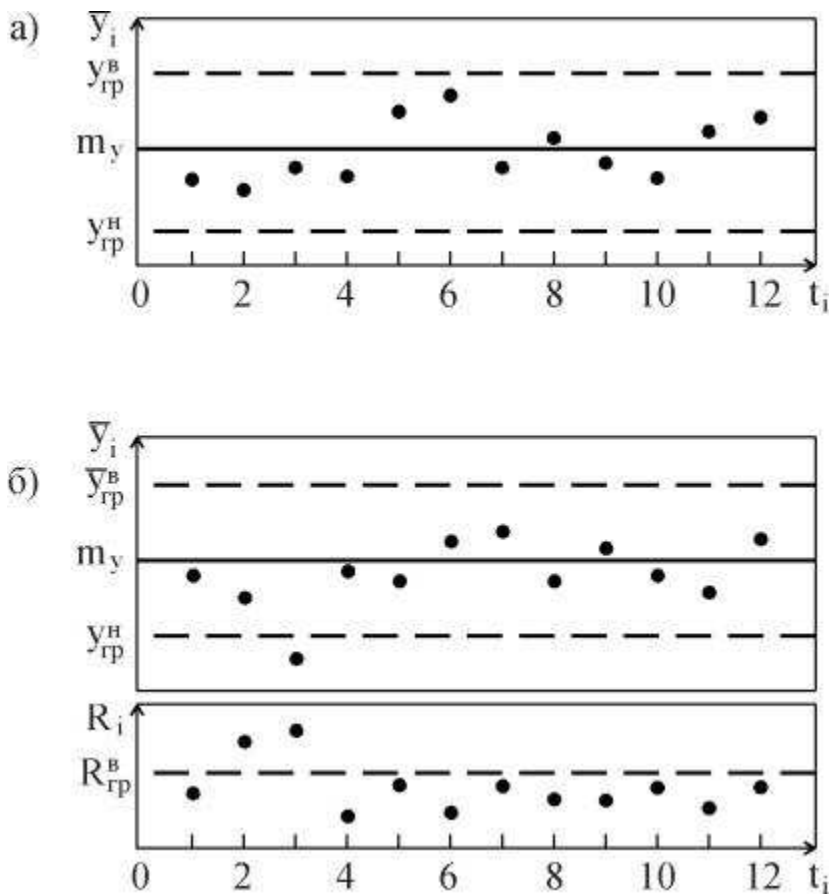


Рис. 3.19. Контрольные карты процессов:

а - карта средних значений; б - карта (\bar{y}, R_y)

К альтернативным гипотезам χ_i , $i=1,2,\dots$ относятся все остальные гипотезы. Например, нулевой гипотезе о равенстве нулю разности ($\bar{y}-m_y$) можно сопоставить две альтернативные: $\chi_1-(\bar{y}-m_y)>0$ и $\chi_2-(\bar{y}-m_y)<0$.

Контрольные границы для карт процессов определяют в следующей последовательности:

1. Выдвигают нулевую χ_0 и одну χ_1 или две χ_1, χ_2 альтернативные гипотезы;
2. Выбирают критическую статистику s ;
3. Устанавливают уровень значимости α
4. По таблице квантилей или процентных точек находят граничное значение $s_{гр}$ (или $s_{гр}^H, s_{гр}^B$), соответствующее выбранному уровню значимости и числу замеров N ;
5. По формуле связи критической статистики s с оцениваемым параметром рассчитывают контрольные границы.

Рекомендации по использованию контрольных карт в разных условиях приведены в табл. 3.6

Таблица 3.6
Условия применения контрольных карт

Причина изменения процесса	Среднее \bar{y}	Размах R	Стандартное отклонение s_y	Накопленная сумма
Грубое отклонение	1	2	-	3
Сдвиг среднего	2	-	3	1
Сдвиг дисперсии	-	1	-	-
Тренд *	2	-	-	1
Колебание	-	1	2	-

Условные обозначения: "-" - неприменима; 1,2,3 - место в ранжированном ряду применения (1 - наиболее предпочтительная карта и т.д.); * систематическое увеличение (уменьшение) средних значений.

3.8 Таблицы состояний и аварийных сочетаний

Безопасность эксплуатации технической системы можно повысить, измеряя переменные состояния объекта с последующей оценкой его работоспособности по результатам измерения и установлением текущего места на дереве отказа. По достижению объектом угрожающих (предаварийных) состояний можно своевременно принять необходимые защитные меры. Для реализации такого подхода широко используют таблицы состояний и аварийных сочетаний.

При построении таблицы определяют состав измеряемых переменных, устанавливают пределы их изменения (уровни), определяют виды и значения входных воздействий, при которых измеряются переменные, оценивают возможные отказы (нарушения) элементов системы, составляют перечень ситуаций, образуемых сочетаниями и значениями измеряемых переменных, строят дерево решений, выбирают вид и заполняют таблицу решений, оптимизируют компоновку таблицы.

Например, в системе контролируются давление (y_1) и температура (y_2). Переменная y_1 может находиться на двух уровнях: "0" - нормальное значение, "+" - завышенное значение, а переменная y_2 на трех уровнях: "0", "+" и "-" (заниженное значение). В этом случае число возможных сочетаний измеряемых величин равно шести (2×3): ситуация I - $y_1=0, y_2=0$, т.е. (0;0); ситуация II - (0;+) и т. д. (табл. 3.7). Основные отказы элементов системы: 1 - отказ регулятора давления, 2 - отказ регулятора температуры, 3 - отказ регулятора расхода.

Таблица 3.7
Таблица решений по значениям двух переменных

Ситуация	I	II	III	IV	V	VI
Переменные						
y_1	0	0	0	+	+	+
y_2	0	+	-	0	+	-
Отказы (диагноз)	h_0	2	4	1	1,2	3

Соответствие между ситуациями и отказами отражается на дереве состояний (рис. 3.20). При его построении из начальной вершины (нулевой уровень) проводят ребра, соответствующие значениям переменной y_1 , из вершины следующего уровня - значениям переменной y_2 . После рассмотрения всех переменных образуются вершины, соответствующие возможным ситуациям, они пунктиром связаны с отказами объекта.

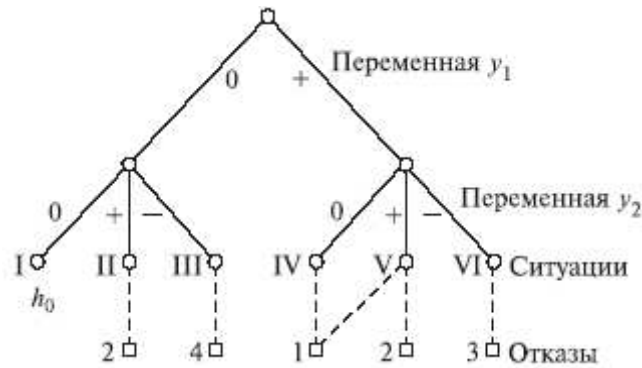


Рис. 3.20 Дерево состояний

Преобразование таблицы состояний к компактному виду представлено на примере системы контроля и управления расходным топливным баком (рис.3.21). Приборы 1, 2 контролируют скорости входного F_1 и выходного F_2 потоков, регулятор 3 поддерживает постоянный уровень в емкости с помощью крана 4. Измеряемыми переменными являются F_1, F_2 (показания приборов 1, 2) и положение В крана 4. Каждая переменная может находиться на трех уровнях: "0" - нормальном; "+" - высоком (кран открыт) и "-" - низком (кран закрыт).

При функционировании объекта наиболее вероятны следующие отказы: 2 - течь трубопровода на участке 2-4, 3 - ошибочно открытый кран 4, 4 - нарушение проточной части выходной трубы, 5 - течь емкости, 6 - ненормальная производительность и А - аномалия, т.е. невозможная комбинация результатов измерения, с точки зрения принципа работы, ошибочные измерения.

Некоторые ситуации соответствуют одним и тем же отказам, их можно объединить. Так, в ситуациях 2, 11, 20 при различных значениях F_1 одинаковый вывод - нарушения 2, 3. Это позволяет объединить три ситуации, отметив значение F_1 знаком Л - любое. Результаты объединения ситуаций приведены в табл.3.8.

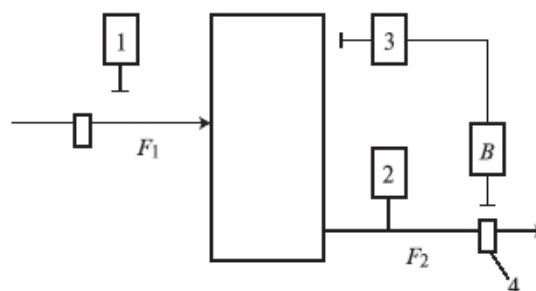


Рис. 3.21. Схема системы контроля и управления расходным баком

Таблица 3.8

Таблица решений по значениям трех переменных

Ситуация	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Переменные														
F_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+
B	0	0	0	+	+	+	-	-	-	0	0	0	+	+
F_2	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+
Отказы	h_0	2	4	4	A	4	2	2	5	5	2	4	4	6
(диагноз)		3					3	3			3			
Ситуация	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		27
Переменные														
F_1	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	+	-	-	-	0	0	0	+	+	+	-	-	-	-
F_2	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	-
Отказы	4	2	2	5	A	2	4	4	A	4	2	2		6
(диагноз)		3	3			3					3	3		

Применение таблицы решений позволяет контролировать развитие особой ситуации, начиная от состояния нормального функционирования, когда все измеряемые переменные находятся в допустимых пределах. Сначала отклоняется от нормы значение одной переменной, затем двух и т.д. С помощью таблицы по значениям переменных определяют конкретные ситуации, а следовательно, и соответствующие им отказы, что позволяет своевременно их устранять и принимать меры для предотвращения происшествия.

Таблица 3.8

Таблица решений с объединенными ситуациями

Ситуация	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Переменные															
F_1	0	Л	Л	Л	+	Л	Л	Л	0	+	-	+	-	-	0
B	0	0	0	+	+	+	-	-	-	-	-	0	0	+	+
F_2	0	+	-	0	+	-	0	+	-	-	-	-	+	0	+
Отказы	h_0	2	4	4	6	4	2	2	5	5	5	5	A	A	A
(диагноз)		3					3	3							

Таблицы решений используют также для автоматизации построения дерева отказов.

Вопросы для самопроверки:

1. На каких этапах управления рисками используются качественные и количественные методы анализа опасностей?
2. Инженерные методы прямого и обратного порядка исследования безопасности.
3. Цель и задачи предварительного анализа опасностей.
4. Формализация общего и детального анализа опасностей.
5. Метод построения «Дерева отказов», его основные преимущества и недостатки.
6. Основные типы элементарных блоков, используемых при проведении анализа методом «Дерево отказов».
7. Технология построения дерева отказов.
8. Цели использования дерева событий и дерева решений в инженерной практике.
9. Схема проведения логического анализа безопасности систем.
10. Технология использования контрольных карт и таблиц состояния наблюдаемых процессов

4. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для снижения опасности отказов систем из-за конструктивных, производственных или эксплуатационных причин существует ряд типовых мероприятий предупредительного, контролирующего и защитного характера, обеспечивающих надежность и безопасность технических систем. Их применяют на различных этапах жизненного цикла систем - в процессе проектирования, на стадиях изготовления и эксплуатации.

На стадии проектирования и изготовления технических систем предупредительные мероприятия обычно включают:

- использование отработанных методов и средств обеспечения надежности;
- анализ альтернативных проектно-конструкторских решений и выбор наилучших;
- создание запасов работоспособности по нагрузкам и отказам различных видов;
- использование резервирования; выбор высоконадежных комплектующих элементов, материалов;
- создание контролепригодных и ремонтпригодных элементов;
- обучение конструкторов, испытателей передовым методам и способам обеспечения надежности;
- установление проектных норм надежности и типовых испытаний при экспериментальной отработке;
- разработка новых средств контроля и диагностики.

Контрольные мероприятия:

- экспериментальная проверка технических решений, особенно новых;
- проверка всех режимов функционирования;
- целевые и комплексные испытания;
- контроль и корректировка конструкторской документации;
- экспериментальная проверка запасов работоспособности на всех режимах функционирования;
- контроль надежности; контроль качества труда исполнителей, самоконтроль.

Защитные мероприятия:

- анализ видов и последствий отказов;
- введение специальных элементов в состав системы, обеспечивающих безопасность при возникновении отказов;
- отработка основных отказных режимов функционирования;
- тренировка эксплуатационного персонала;
- реализация технических решений по локализации отказов;
- применение оперативного контроля и управления функционированием;

- обеспечение сохранения работоспособности системы при отказах элементов;
- разработка системы обслуживания и восстановления техники.

На стадии эксплуатации технических систем предупредительные мероприятия:

- использование автоматизированных средств контроля и поиска неисправностей;
- отработка эксплуатационно-технической документации;
- проведение регламентных работ;
- оценка и прогнозирование технического состояния и надежности;
- обучение и аттестация персонала.

Контрольные мероприятия:

- автоматизированная регистрация и обработка информации об отказах и неисправностях;
- контроль качества;
- самоконтроль;
- гарантийный надзор.

Защитные мероприятия:

- проведение доработок по документации разработчиков;
- использование автоматических средств защиты;
- использование запасных частей, обменного фонда;
- анализ последствий произошедших отказов и реализация защитных мероприятий;
- обучение и аттестация персонала для работы при возникновении отказов.

4.1 Техническая поддержка и обеспечение работ по безопасности сложных технических систем

Технические средства (элементная база, экспериментальные и производственные возможности) представляют наиболее важную часть активных средств обеспечения безопасности и эффективности сложных технических систем. Отсутствие материально-технической основы создания надежной техники и поддержания ее в работоспособном состоянии на протяжении всего жизненного цикла, не может быть заменено другими мерами (организацией работ, реализацией программного подхода, методического, нормативного или информационного обеспечения).

Уровень технического обеспечения зависит от следующих факторов:

- уровней качества и надежности материалов, полуфабрикатов, комплектующих элементов, агрегатов и изделий общего назначения, выпускаемых промышленностью и используемых в составе технических систем;

- технического уровня, номенклатуры, производительности, степени автоматизации технических средств для проектирования, отработки производства и эксплуатации сложных изделий;

- уровня автоматизации систем и средств оперативного сбора, обработки, обмена информацией для координации и контроля хода создания и применения технических изделий и технологий.

Чем сложнее создаваемые технические системы, тем больше в них потенциальных источников отказов, тем проблематичнее становится обеспечение их надежности при достигнутом научно-техническом уровне проектирования, экспериментальной отработки, производства и эксплуатации.

Все технические средства обеспечения надежности и безопасности, которые используют при создании и эксплуатации технических систем, могут быть условно разделены на три класса: средства предупреждения, средства контроля и средства защиты.

К числу *технических средств*, используемых для *предупреждения отказов конструктивного характера*, относят:

- автоматизированные цифровые и аналого-цифровые комплексы моделирования, имеющие необходимое математическое обеспечение и позволяющие проектантам разрабатывать большое число альтернативных вариантов элементов системы, режимов их работы и выбирать наиболее надежные и эффективные;
- средства автоматизированной разработки конструкторской и технологической документации, позволяющие исключить ошибки в документации и значительно ускорить её разработку;
- современное экспериментальное оборудование, позволяющее своевременно отрабатывать новые технические решения, обеспечить высокую надежность элементов;
- технические средства обучения и повышения квалификации конструкторов, технологов, экспериментаторов и других сотрудников предприятий-разработчиков;
- автоматизированную систему информации по вопросам качества и надежности элементов технических систем.

К числу *технических средств*, *предупреждающих отказы* и отклонения *производственного характера*, относят:

- прогрессивное автоматизированное производственно-технологическое оборудование, средства контроля и управления технологическими процессами;
- технические средства входного неразрушающего контроля и диагностики, исключающие попадание в производство недостаточно качественных материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов;
- автоматизированные средства обучения рабочих и инженерно-технических работников предприятий-изготовителей;
- автоматизированную систему информации по качеству и надежности систем в производстве.

К числу *технических средств предупреждения отказов в эксплуатации* относятся:

- технические средства для отработки эксплуатационной документации (стенды, макеты, имитаторы) и обучения эксплуатирующего персонала;
- автоматизированные средства контроля, диагностики и поиска неисправностей;
- технические средства для проведения предупредительных и регламентных работ.

К числу *технических средств, обеспечивающих контроль и выявление отказов конструктивного характера*, относятся:

- экспериментальную базу, достаточную для контроля правильности заложенных технических решений, проверки запасов работоспособности элементов во всех режимах функционирования, контроля надежности;
- технические средства контроля и корректировки конструкторской документации, качества труда исполнителей.

Технические средства контроля надежности в производстве технических систем предназначены для осуществления следующих функций:

- проведения эффективного входного, пооперационного и приёмочного контроля качества элементов;
- проверки режимов функционирования, запасов работоспособности, проведения контрольно-технологических испытаний;
- контроля качества сборки и совместного функционирования групп элементов;
- контроля качества технологической документации, стабильности технологических процессов, качества труда исполнителей.

Технические средства контроля надежности в эксплуатации:

- технические средства неразрушающего контроля и диагностики;
- автоматизированные средства регистрации и обработки информации о результатах функционирования элементов систем, об отказах и неисправностях;
- технические средства прогнозирования работоспособности элементов, контроля и поиска неисправностей;
- автоматизированные средства контроля качества работы операторов.

К числу *технических средств защиты*, предназначенных для устранения условий возникновения отказов, а также последствий их появления, относятся:

- технические средства локализации отказов, вводимые непосредственно в состав системы;
- технические средства оперативного контроля и управления системой при возникновении опасных ситуаций;

- блокировки в ответственных технологических процессах, исключающие возможности разрушения элементов системы при нарушении технологического процесса;

В конструкции технических систем для уменьшения ущерба от возможных отказов предусматривают следующие технические средства:

- пожаро-взрывобезопасности и пожаротушения;
- автоблокировки, исключающие прохождение и выполнение ошибочных команд;
- предупреждения ошибочных действий операторов.

При разработке новых технических систем в них должны быть включены:

- средства предупреждения отказов и отклонений от установленного хода технологических процессов;
- средства оперативного контроля и выявления причин отказов и отклонений;
- средства защиты от опасных последствий отказов и отклонений.

К числу современных средств защиты технических систем от действия опасных отказов относят защитную автоматику.

Защитная автоматика - это совокупность организационных и технических средств, используемых в системах для поддержания заданного режима технологического процесса, предотвращения аварийных ситуаций и (или) повреждения элементов систем.

Защитная автоматика должна обеспечивать определение состояния оборудования (например, "включено или выключено"), степени его загрузки, режима работы и значений технологических параметров.

По функциональному признаку в защитной автоматике выделяют блоки автоматического контроля, измерения, сигнализации, защиты и блокировки.

Автоматический контроль и измерения могут проводиться дискретно или непрерывно. В зависимости от места представления показаний различают контроль местный и централизованный (дистанционный). При местном контроле измерительные приборы и индикаторы устанавливаются на объекте контроля, при централизованном, индикаторы выносят на диспетчерский пульт. При контроле предельных положений регистрируются только параметры, соответствующие этим положениям, при непрерывном контроле происходит непрерывное измерение параметров.

Сигнализация предназначена для передачи контрольных, управляющих (командных) и информационных сигналов по каналам и линиям связи, например оператору или диспетчеру.

Различают сигнализацию предупредительную - для предупреждения персонала о пуске тех или иных механизмов, распорядительную - для пуска и отключения систем оператором, исполнительную - для контроля выполнения распоряжений, аварийную - для оповещения персонала о нарушении нормального хода процессов. Для сигнализации о состоянии распределенных объектов используют телекоммуникацию.

Блокировка - совокупность методов и средств, обеспечивающих фиксацию рабочих частей (элементов) технической системы в определенном состоянии (положении), которое сохраняется независимо от того, устранено или нет блокирующее воздействие, чем достигается как безопасность оборудования, так и безопасность обслуживания.

4.2 Организационно-управленческие мероприятия

4.2.1 Техническое обслуживание, ремонтные работы и инспектирование

Надежность и безопасность функционирования технических систем существенно зависит от качества технического обслуживания и ремонта этих систем. По этой причине должны быть разработаны технологии обслуживания, как самих технических систем, так и относящихся к ним систем безопасности. Техническое обслуживание (ТО) систем безопасности должно обеспечивать решение следующих задач:

- проверку условий работы систем безопасности, как в тестовых режимах, так и в рабочих процессах;
- проверку исправности оборудования систем безопасности на рабочих местах, например, путем визуального осмотра или дистанционного контроля;
- мониторинг питающих устройств;

Ошибки и нарушения персонала при выполнении ТО и ремонтных работ, могут стать причиной возникновения опасностей. Поэтому должны быть разработаны подробные инструкции проведения таких работ. В них должны быть отражены квалификационные требования к обслуживающему персоналу, а также требования по контролю за проведением этих работ.

Необходимо разработать план инспекций и испытаний сложных технических систем, сроки проведения которых должен строго соблюдаться. Инспекторской проверке должны быть подвергнуты технические средства и меры организации контроля над опасностями. Инспекции и испытания должны соответствовать общепринятой практике и проводиться с периодичностью, рекомендованной изготовителем, а при необходимости (устанавливается по предшествующему опыту эксплуатации), и чаще.

Технический персонал, осуществляющий эксплуатацию систем, должен устранить неисправности или перед дальнейшим использованием системы, или по плану-графику, если немедленно были предприняты необходимые меры для обеспечения безопасности эксплуатации.

4.2.2 Управление изменениями в технологическом процессе

Перед тем как вносить какие-либо изменения в технологию процесса эксплуатации технических систем, в другие объекты, работа которых влияет на технологический процесс, необходимо рассмотреть и оценить:

- - техническую базу для предлагаемого изменения;
- - влияние изменения на безопасность этой и других систем, включая экологическую безопасность;
- - изменение эксплуатационных процедур;

- - срок, необходимый для реализации изменений;

Персонал, вовлеченный в эксплуатацию систем и техническое обслуживание, должен до внесения изменений и запуска модернизированного технологического процесса быть проинформирован об изменениях, и пройти соответствующее обучение.

Если изменение затрагивает информацию и инструкции по эксплуатации систем, то они должны быть соответствующим образом откорректированы.

4.2.3 Обучение

Несмотря на то, что в обеспечении безопасности важное место занимают технические средства, без участия человека никакое производство работать не будет. Поскольку на уровень безопасности люди могут оказывать как позитивное, так и негативное влияние, крайне необходимо снизить последнее и всячески поддержать первое. Обе цели могут быть достигнуты путем правильного подбора персонала, его первоначального обучения и последующего поддержания профессиональных навыков. В ходе обучения до слушателей должна быть доведена следующая информация:

- об опасностях, связанных с производственными процессами и уровнях риска;
- об инструкциях, которые необходимо строго соблюдать в ходе выполнения работы;
- о возможных условиях работы;
- о рекомендуемом поведении при нарушении режимов работы системы;
- о ситуациях, близких к аварийным, на других аналогичных производствах.

Повторное обучение должно проводиться, по крайней мере, каждые три года (или чаще, по мере необходимости) для каждого работника, включенного в эксплуатацию технических систем, для подтверждения того, что работник понимает и твердо придерживается действующих эксплуатационных инструкций. Руководитель должен определить во время консультаций с работниками, вовлеченными в эксплуатацию технических систем, периодичность повторного обучения.

Руководителю необходимо удостовериться, что каждый работник, вовлеченный в процесс, получил и усвоил требуемые знания и навыки. Результаты обучения и аттестации персонала должны быть оформлены соответствующим образом.

4.3 Диагностика опасных ситуаций в технических системах

Определение технического состояния систем в ходе эксплуатации или после ремонта называют техническим диагностированием. С помощью технической диагностики прогнозируют возможные отклонения в состоянии систем и устройств, а также разрабатывают методы и средства обнаружения и локализации неисправностей в них. Различным нарушениям в работе систем соответствуют определенные технические состояния. Техническим

состоянием называют совокупность свойств системы, подверженных изменениям в процессе ее эксплуатации. Эти свойства характеризуются признаками (требованиями, параметрами), устанавливаемыми нормативно-технической документацией на систему. Введение переменной состояния функционирования h позволяет каждому значению h ставить в соответствие определенное техническое состояние.

Совокупность средств, правил и алгоритмов диагностирования образует систему технического диагностирования (СТД).

Основные задачи диагностирования *при проектировании* - проверка соответствия разработанной системы исходному заданию на проектирование и обеспечение высокого качества диагностики системы на последующих этапах жизненного цикла на предмет установления возможных отказов. Одновременно с проектированием системы создают СТД. Так как значительная доля происшествий связана с ошибками при проектировании, а стоимость каждой пропущенной ошибки исключительно велика, то диагностированию необходимо уделять большое внимание.

При изготовлении, монтаже систем техническое диагностирование - неотъемлемая часть выполняемых работ. Основная цель диагностирования на этих этапах - проверка работоспособности. Возможны два технических состояния системы: работоспособное (h_0) и неработоспособное. При ремонте с помощью диагностики можно выявить, содержит ли система дефектные элементы, действительно ли устранены все неисправности. Алгоритмы технического диагностирования должны обеспечивать требуемую достоверность результатов определения состояния системы.

При эксплуатации системы с помощью технического диагностирования определяют состояние функционирования (допустимое, предаварийное, аварийное), осуществляют поиск неисправности. Число состояний, различаемых в результате поиска неисправности, определяется глубиной поиска дефекта и требуемой достоверностью результатов диагностирования. Глубина поиска задается указанием элементов системы, с точностью, до которых определяют место неисправности. Достоверность результатов диагностирования - степень соответствия состояния, оцененного по этим результатам, истинному состоянию системы. Количественно достоверность характеризуется вероятностью совпадения оцененного и истинного состояний.

Результаты диагностирования используют при прогнозе развития событий и поиске причин отказов. В первом случае предсказывают (прогнозируют) состояние системы, в котором она может оказаться в некоторый будущий момент времени. Например, двигатель в настоящий момент находится в предаварийном состоянии; определяют его возможные переходы в другие состояния, и в первую очередь в аварийные. Во втором случае восстанавливают состояние, в котором система находилась в некоторый предшествующий момент времени. Это особенно важно при расследовании происшествий, выявлении причин их возникновения. Определение состояний, предшествующих происшествию, а следовательно, и

первопричины его возникновения, исключительно важно для их устранения в будущем и на аналогичных системах.

Классификация методов технического диагностирования при эксплуатации системы и в нерабочем состоянии показана на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Методы, технического диагностирования

При эксплуатации технических систем наиболее распространено функциональное и тестовое диагностирование (рис. 4.2).

В первом случае состояние системы определяют по результатам текущего контроля за входными « x » и выходными « y » переменными. Во втором случае на систему подают специальные тестовые воздействия « x_T ».

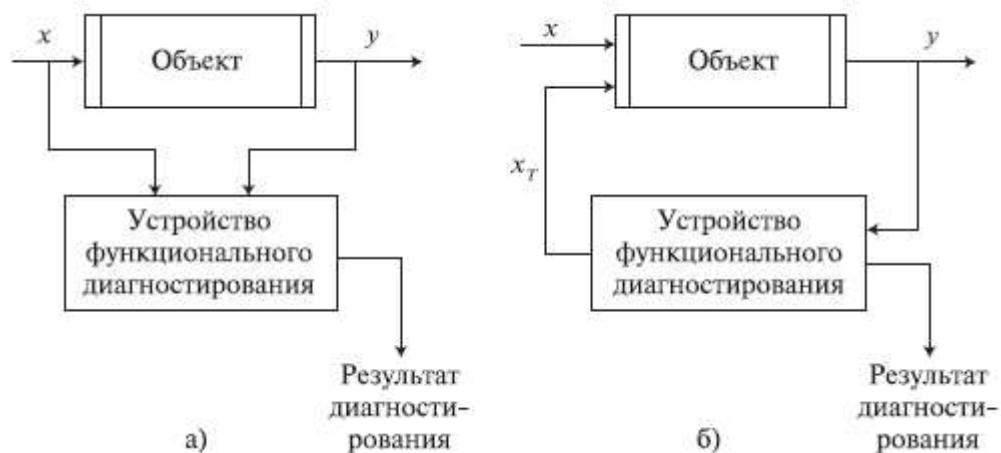


Рис. 4.2. Структурные схемы диагностирования: а - функционального; б - тестового

Для производственного технологического оборудования используют в основном функциональное диагностирование, для автоматических устройств контроля, управления и защиты применяют оба вида диагностирования, вычислительные средства, программное обеспечение проверяют с помощью тестов. При тестовом контроле на вход проверяемого устройства подаются специально подобранные совокупности входных воздействий (проверяющие тесты). Полученную на выходе реакцию сравнивают с эталонной. Если они совпадают, то устройство на момент контроля находится в работоспособном состоянии. В противном случае устройство неисправно. Разработаны специальные методы построения оптимальных тестов, позволяющих за

минимальное время проверять работоспособность устройства в целом, а также алгоритмы автоматического решения задач синтеза проверяющих и диагностических тестов. Тесты разрабатывают одновременно с проектированием объекта.

Роль технической диагностики возрастает с увеличением мощности и сложности систем, для которых интуитивные методы и ручные способы определения состояний непригодны. Задачи диагностики сложных систем решают с использованием ЭВМ в рамках автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) или автоматизированных систем диагностики (АСД).

Например, применительно к технологическому комплексу АСД выполняет следующие функции:

- определение текущего состояния работоспособности, обнаружение предаварийных и аварийных состояний;
- локализация неисправностей до уровня отдельных агрегатов, элементов систем контроля, управления и защиты;
- регистрация моментов обнаружения неисправностей и их устранения;
- прогнозирование значений переменных технологических процессов в различных состояниях работоспособности;
- прогнозирование предельного значения времени восстановления работоспособности системы;
- регистрация фактического времени восстановления работоспособного состояния;
- отображение оперативной информации о неисправностях на экране дисплея оператора;
- запись, накопление и хранение на магнитных дисках информации о неисправностях;
- выдача накопленной информации о неисправностях системы.

АСД, с помощью которой решают данные задачи, может быть реализована на ЭВМ. На основе АСД строится автоматизированная система обеспечения безаварийного функционирования. Схема АСД приведена на рис. 3.3. Данная система осуществляет текущий контроль входных «х», выходных «у», переменных и параметров А объекта.

После преобразования сигналов от датчиков в унифицированную форму (блок 2) значения $x(t)$, $y(t)$, $A(t)$ сопоставляют с допустимыми для нормальной работы (блок 4), т.е. проверяют выполнение условий $x(t) \in X_{\text{доп}}$, $y(t) \in Y_{\text{доп}}$, $A(t) \in A_{\text{доп}}$, где $X_{\text{доп}}$, $Y_{\text{доп}}$, $A_{\text{доп}}$ - области допустимых значений соответственно x , y , A . Если какое-либо условие не выполняется, то в блоке 5 принимается решение о выдаче сигнала тревоги $S(x, y, A)$, а также выработке корректирующих воздействий управляющими устройствами (блок 11). В блоке 10 по данным о $x(t)$, $y(t)$, а иногда и отдельных значений $h(t)$, оценивают вектор фазовых координат $z(t)$ и переменную состояния функционирования $h(t)$. Значения $z(t)$ и $h(t)$ сопоставляют с допустимыми (блок 9), т.е. проверяют условия $z(t) \in Z_{\text{доп}}$, $h(t) \in H_{\text{доп}}$. В блоке 5 анализируется

текущее состояние системы в случае опасности и выдается сигнал предупреждения $S_n(z, h)$ или тревоги, $S(z, h)$ блоком 3. Блоком 7 производится диагностика имеющихся нарушений, а блоком 6 - проверка работоспособности системы обеспечения безаварийности с помощью специальных тестов.

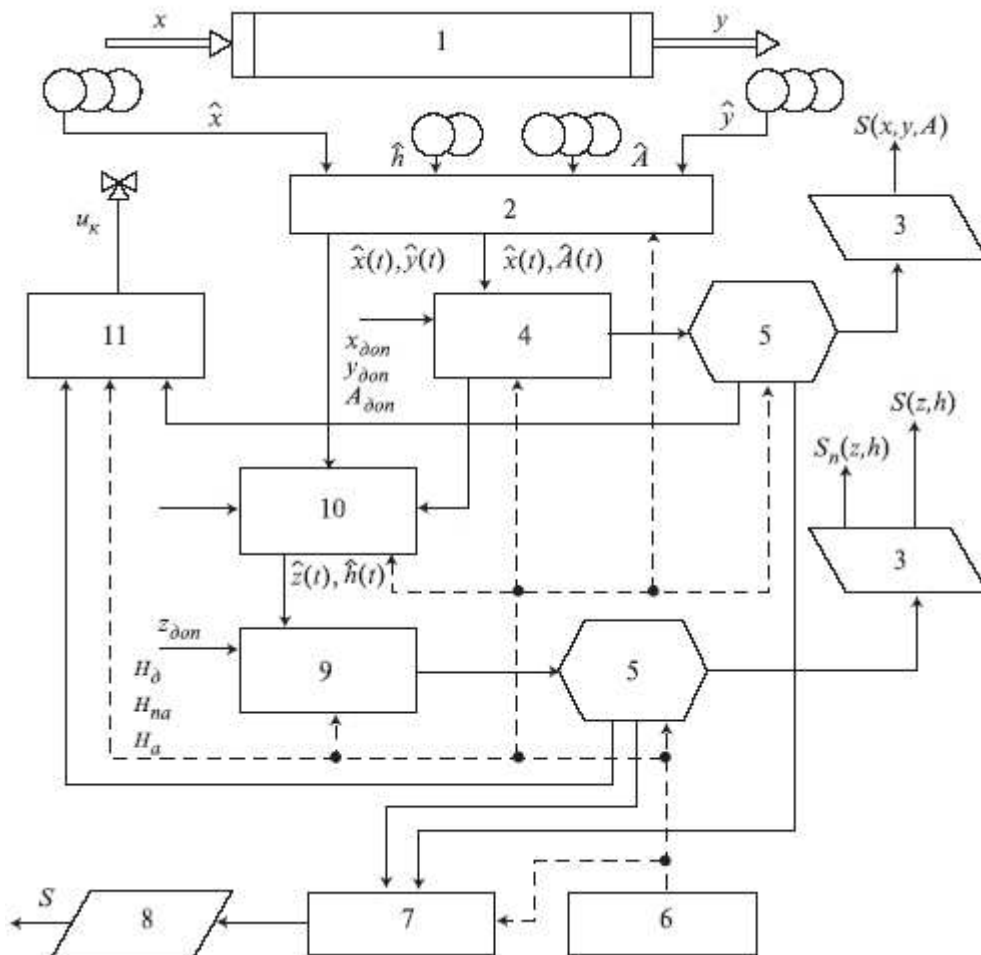


Рис. 4.3. Схема автоматизированной системы диагностики: 1 - объект; 2 - первичные преобразующие и обрабатывающие устройства; 3 - сигнал тревоги; 4 - сопоставление с интервалами, допустимыми для нормальной работы; 5 - анализ и принятие решения; 6 - проверка работоспособности системы; 7 - диагностика нарушения; 8 - сигнал о нарушении; 9 - сопоставление с интервалом $Z_{дон}$ и подмножествами состояний H_d , $H_{на}$, H_a ; 10 - оценка переменных состояния z , h ; 11 - коррекция управляющих воздействий

Например, анализ вибрации позволяет получить важную информацию о процессах в различных механических устройствах, связанных с вращением, качением, скольжением, движением жидкостей, газов и т.д. В настоящее время разработаны датчики вибраций, методы и устройства получения частотного спектра - виброграмм. Схема системы контроля вибраций приведена на рис.3.4а. Расположение дискретных частот виброграммы и их амплитуды позволяют определять состояние работоспособности системы, обнаруживать зарождающиеся отказы, связанные, например, с износом. Характерный вид виброграмм для различных состояний функционирования показан на рис.3.4б.

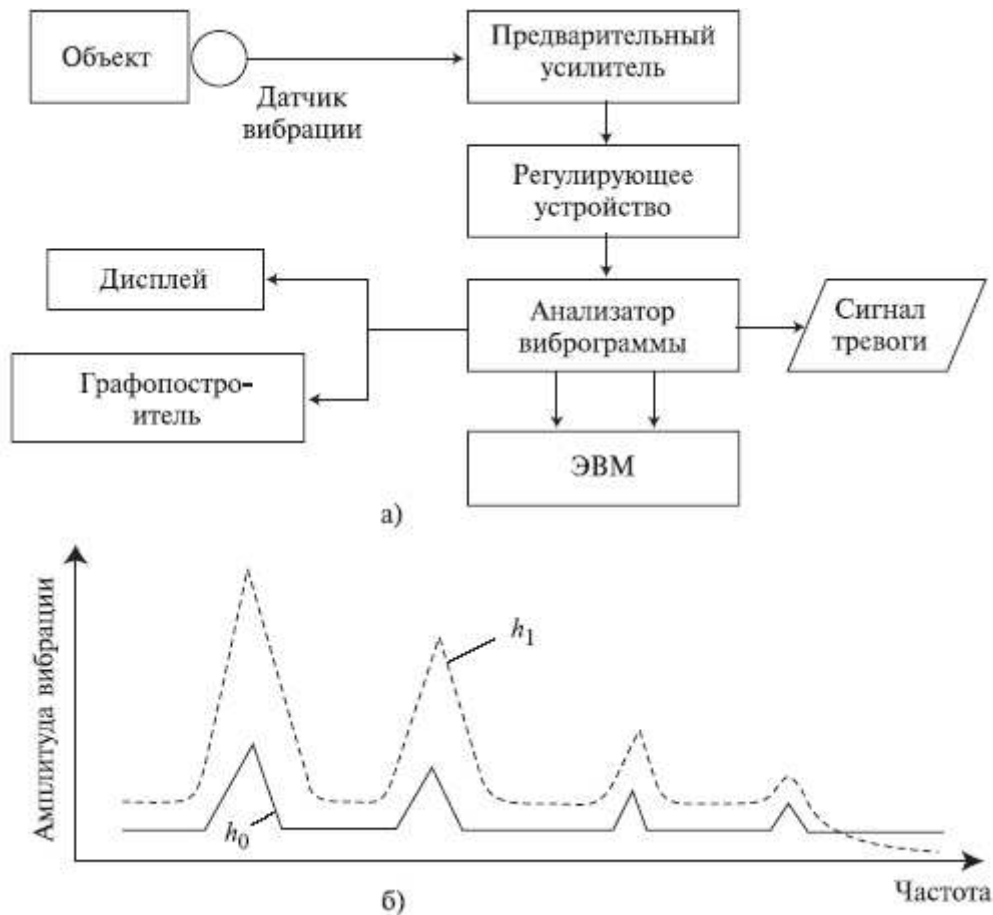


Рис. 4.4 Система контроля вибраций: а - схема; б - виброграммы при различных состояниях работоспособности

Нарушения нормального функционирования, как правило, увеличивают вибрацию (пунктирная линия на рис. 4.4,б для состояния h_1).

Многим механическим узлам и устройствам на виброграмме соответствуют определенные дискретные частоты. Для вращательного механизма, например двигателя, компрессора, насоса, вентилятора, турбины, имеется серия дискретных частот, кратных частоте вращения ротора. Разработан ряд критериев, позволяющих устанавливать допустимые уровни вибрации машин с механизмами вращения. В качестве параметров в критериях используются пики величины вибраций и смещения пиков. Основные источники вибрации в данном случае деформация или повреждение частей ротора, деформация корпуса и основания, эксцентриситет в подшипниках, повреждение подшипников и др. В меньшей степени исследованы виброграммы механизмов с возвратно-поступательным движением и коробок зубчатых передач.

Для диагностики и предотвращения нарушений в работе технических систем широко используют измерение и анализ характеристик шумов, исходящих от движущихся механизмов, потоков - трубопроводов и теплообменников. С помощью акустических методов выявляют следующие повреждения: трещины в металлических корпусах агрегатов, стенках труб и соединениях, ослабление крепления, отложения на стенках и коррозию, течь в уплотнениях, пропуск газов и др.

Шумы агрегатов и машин характеризуют как общие свойства систем, так и свойства их частей. Производственный шум имеет широкий спектр сигнала, параметры его можно рассматривать как многомерный вектор. Опыт применения акустических методов показывает, что в состоянии нормального функционирования энергия шума в основном концентрируется в области низких частот, а энергия, соответствующая дефектам, располагается на более высоких частотах. Это обстоятельство используют для своевременного обнаружения зарождающихся нарушений.

Каждому состоянию работоспособности системы соответствует свой характерный спектр шума. Задача акустического диагностирования заключается в том, чтобы по зарегистрированному сигналу шума определить техническое состояние контролируемого объекта. Наиболее распространены два способа для решения этой задачи. Первый способ основан на применении взаимных корреляционных функций, он предполагает предварительную запись в память диагностического устройства временных реализаций сигналов, соответствующих различным состояниям работоспособности. В момент контроля записывается реализация шумового сигнала, излучаемого системой. Данную реализацию используют для расчета взаимных корреляционных функций с сигналами, хранящимися в памяти системы контроля. Считается, что система находится в состоянии, которому соответствует максимальная взаимная корреляция.

Второй способ основан на сравнении статистических характеристик реализаций сигналов, например плотностей распределений, автокорреляционных функций, энергетических спектров. В памяти хранятся статистические характеристики, типовые для возможных состояний функционирования. По реализации сигнала в момент контроля системы вычисляют текущую характеристику, которую сравнивают с типовыми. Рассчитываемые критерии близости (максимальное отклонение, среднее квадратическое отклонение и т.п.) используют для характеристики технического состояния системы.

Хорошие результаты получают с помощью метода акустической эмиссии. На поверхности системы устанавливают комплект датчиков, которые регистрируют упругие колебания акустического диапазона, источниками колебаний являются развивающиеся макро- и микродефекты материала конструкции. По разности времени прихода импульсов акустической эмиссии к различным датчикам, суммарного числа импульсов, их интенсивности, характера амплитудного распределения сигналов определяют координаты расположения и степень опасности нарушения - источника акустической эмиссии. Спектральный анализ импульсов, корреляционные зависимости между сигналами от датчиков и размерами, конфигурацией и стадией развития макро- и микродефектов для конкретных материалов позволяют оценить техническое состояние конструкции системы, ее остаточный ресурс.

Недостаток большинства акустических методов - необходимость иметь в памяти системы контроля реализации сигналов или статистические

характеристики сигналов всех состояний функционирования. При этом они должны быть получены на контролируемой системе, чтобы учесть его индивидуальные особенности.

4.4 Алгоритм обеспечения эксплуатационной надежности технических систем

В процессе обработки информации по анализу последствий отказов технических систем принимают решение либо о немедленном устранении конструктивных недостатков, изменении технологии эксплуатации или технического обслуживания систем (если причина отказа очевидна), либо о проведении необходимых исследований для устранения причины отказа и последующего устранения слабого звена. Окончательные изменения в технологическую документацию вносят только после проверки принятых решений. Процесс этот носит непрерывный характер, что позволяет постоянно поддерживать и даже повышать необходимый уровень эксплуатационной надежности и безопасности таких систем. Таким образом, обеспечение эксплуатационной надежности и безопасности представляет собой замкнутый цикл последовательных операций, один из возможных вариантов которого изображен на рис. 4.5.

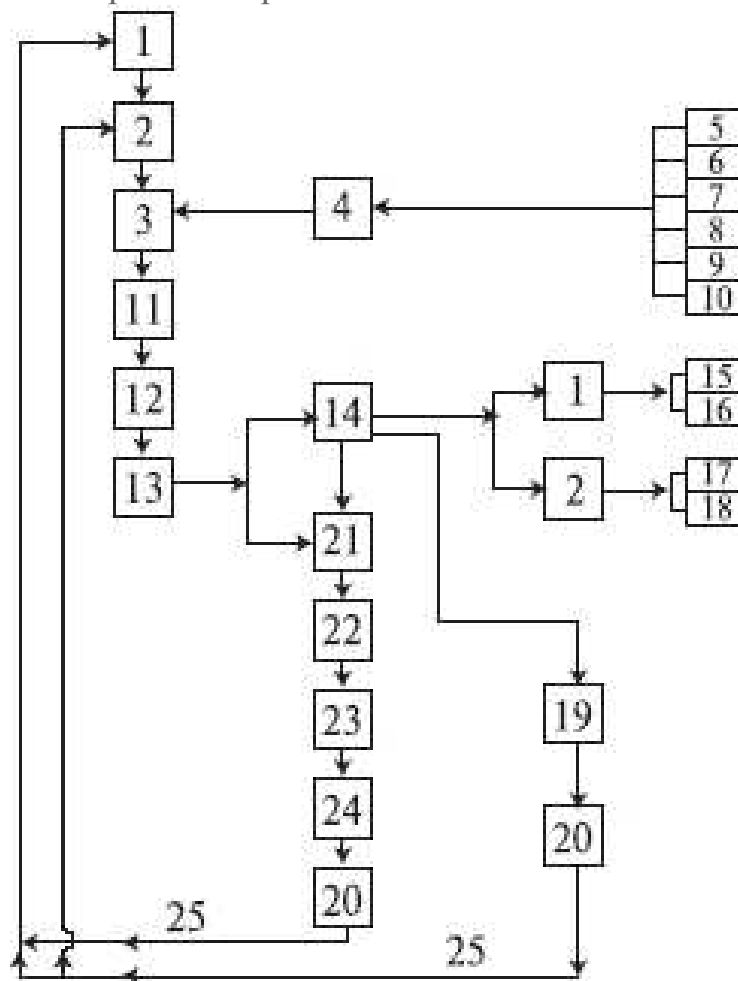


Рис. 4.5. Алгоритм обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности системы: 1 - конструкция оборудования; 2 - существующая практика эксплуатации; 3 - информация; 4 - средства получения информации; 5 - причины отказов; 6, 7 - сведения соответственно о расходе запасных частей и частоте их замены и о потерях

производства, вызванных простоями; 8 - данные результатов инспекций оборудования; 9 - сведения об изменениях размеров, структуры и свойств материала деталей в процессе эксплуатации; 10 - другие сведения; 11 - обработка информации; 12 - анализ причин отказов и выявление слабых мест; 13 - принятие решения; 14 - решение о немедленном изменении конструкции, практики эксплуатации или технического обслуживания и ремонта оборудования; 15, 16, 17, 18 - изменение соответственно конструкции, материала детали или способа ее упрочнения, практики эксплуатации, практики технического обслуживания и ремонта; 19 - проверка предложений в промышленной эксплуатации; 20 - данные промышленной эксплуатации после внесенных изменений; 21 - решение о проведении исследований; 22 - разработка методики исследований; 23 - результаты исследований; 24 - усовершенствование конструкции или практики эксплуатации оборудования на основании исследований; 25 - обратная связь

Вопросы для самопроверки:

1. Типовые корректирующие мероприятия по предупреждению или устранению опасности и их состав на различных этапах жизненного цикла технических систем.
2. Основные виды технических средств обеспечения надежности и безопасности и особенности их использования на различных этапах жизненного цикла технических систем.
3. Основные направления организационно-управленческих мероприятий по обеспечению безопасности технических систем.
4. Цели и задачи технического диагностирования на различных этапах жизненного цикла технических систем.
5. Классификация методов технического диагностирования в эксплуатации.
6. Основные функциональные элементы автоматизированных диагностических систем и схема их взаимодействия.
7. Примеры построения автоматизированных диагностических систем на основе измерений шума и вибраций.
8. Структура работ по обеспечению эксплуатационной надежности технических систем.

5. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА КАК ЗВЕНА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.

5.1 Причины совершения ошибок

Работа технических систем становятся возможной благодаря участию в ней человека. Надежность работы человека определяется как вероятность успешного выполнения им технологической операции или решения поставленной задачи на заданном этапе функционирования системы в течение заданного интервала времени при определенных условиях выполнения работы.

Ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение запрещенного действия), которое может явиться причиной повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального технологического цикла.

Примерно 20-30 % отказов технических систем прямо или косвенно связано с ошибками человека.

Ошибки возникают у людей с различным уровнем подготовки, квалификации и опыта. Поэтому, оценка надежности сложных технических систем без учета надежности работы человека не является достоверной.

Ошибки человека возникают в тех случаях, когда:

- оператор (управляющий технической системой) стремится к достижению ошибочной цели;
- правильно поставленная цель не может быть достигнута из-за неправильных действий оператора;
- оператор бездействует в тот момент, когда его участие необходимо.

Виды ошибок, допускаемых человеком на различных стадиях взаимодействия в системе "человек - машина" можно классифицировать следующим образом.

1. Ошибки проектирования: обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования технических систем или в тех случаях, когда правильные процедуры эксплуатации систем вообще не предусмотрены эксплуатационной документацией. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном их использовании.

2. Ошибки изготовления: имеют место на этапе производства вследствие (а) неудовлетворительного качества работы, например неправильной сборки, (б) неправильного выбора материала, (в) изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации.

3. Операторские ошибки: возникают при неправильном выполнении персоналом установленных эксплуатационной документацией процедур

4. Ошибки технического обслуживания: возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом технических систем или их неправильным монтажом вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала, неудовлетворительного

оснащения необходимой аппаратурой и инструментами, умышленными нарушениями технологии обслуживания и ремонта.

5. Внесенные ошибки: как правило, это ошибки, для которых трудно установить причину их возникновения, т.е. определить, возникли они по вине человека или же связаны с характеристиками оборудования.

6. Ошибки контроля: связаны с ошибочной приемкой как годного элемента или устройства, характеристики которого выходят за пределы допусков, либо с ошибочной отбраковкой годного устройства или элемента с характеристиками в пределах допусков.

7. Ошибки обращения: возникают вследствие неудовлетворительного хранения изделий или их транспортировки с отклонениями от рекомендаций изготовителя.

8. Ошибки организации рабочего места: теснота рабочего места, повышенная температура, шум, недостаточная освещенность и т.п.

9. Ошибки управления коллективом: недостаточное стимулирование специалистов, их психологическая несовместимость, не позволяющие достигнуть оптимального качества работы и пр.

Свойство человека ошибаться является функцией его психофизиологического состояния. Интенсивность ошибок во многом определяется параметрами среды, в которой человек работает.

Кроме того, персонал, эксплуатирующий и обслуживающий опасные технические объекты, испытывает большую психологическую нагрузку. Факторы, ее обуславливающие, можно рассмотреть на примере работы членов летного экипажа магистрального воздушного судна: осознание степени опасности и тяжести последствий аварии; вибрация; повышенная температура и пониженная влажность воздуха; монотонность обстановки; медленные изменения показаний приборов; многократные переходы от размеренных ритмов работы к насыщенным и скоротечным.

Следствия: рост психологической напряженности, потеря бдительности, расстройство сознания.

Статистика аварийности на транспорте и в промышленности показывает, что от 7 до 86% происшествий, связанных с причинением ущерба людям, материальным ценностям, окружающей природе, происходит по вине персонала; 73% из них - в результате неблагоприятных психологических качеств человека.

Психологи определяют следующим образом группы качеств профессиональной надежности человека – оператора сложных технических систем: знания и навыки, психологические, психофизиологические и социально-психологические качества, такие, как стрессоустойчивость, выдержка, добросовестность, ответственность, умение работать в группе. Как правило, основная часть оперативного персонала этому комплексу качеств удовлетворяет. Однако, требуется полное, 100% соответствие оперативного персонала этим качествам, так как неизвестно, на чью долю придется критическая ситуация, из которой придется выходить.

Не следует забывать о социально-психологическом аспекте надежности человеческого фактора в условиях политических столкновений в обществе (тревоги внешнего мира становятся фактором риска, когда у пульта управления сложной технической системой находится эмоционально неустойчивый оператор). В целом сложная картина воздействий на человека, управляющего потенциально опасной техникой, представлена на рис. 5.1.



Рис.5.1. Факторы, воздействующие на человека, управляющего потенциально опасной техникой

Для разных людей движущими мотивами профессионального поведения могут быть:

- познавательный интерес к делу;
- уважение к профессии;
- осознание ответственности;
- карьеризм;
- утилитарный подход (зарплата, премия, жилье, и т.д.).

Особого рассмотрения требует поведение человека в экстремальных (аварийных) ситуациях.

В экстремальных ситуации человек, как правило, продолжает ту линию поведения, которая отработана в предыдущий период. Мера воплощения привычных стереотипов зависит от выраженности таких личных качеств, как эмоциональная выдержка, добросовестность, доверчивость, самоконтроль, стрессоустойчивость и доброжелательность.

Поэтому безопасность человека-оператора сложной ТС может быть выражена следующей формулой:

Безопасность = критическая позиция + строго регламентированный и взвешенный подход + коммуникабельность.

Будучи внедренной в стереотип поведения оператора, эта формула обеспечивает:

- предотвращение аварийной ситуации;
- снижение процента ошибок при управлении в аварийной ситуации.

Обоснованность этого вывода можно проследить на примерах крупных радиационных аварий на АЭС в последние десятилетия.

С 1944 по 1988 г. в мире произошло 296 таких аварий, в которых пострадало 136615 чел., из них 24853 чел. получили значительное облучение и 69 чел. погибли. Из них 13 случаев приходится на ядерные реакторы, а остальные - на радиационные установки и радиофармацевтику.

В возникновении наиболее тяжелой аварии за всю историю атомной энергетики - аварии на Чернобыльской АЭС - большую негативную роль сыграл оперативный персонал. Психологическую и социально-психологическую обстановку на ЧАЭС в момент события можно оценить следующим образом:

1. ЧАЭС - одна из лучших АЭС. Благоустроенный город Припять. Престижное место работы.

2. Квалификация оперативного персонала на ЧАЭС, и в пятой смене в частности (когда произошла авария), в общем, не дают основания для сомнений: образование и практический опыт работы имелись.

3. ЧАЭС - Припять: обособление должностных группировок, внутри которых поддерживались отношения "своих".

4. Подбор и расстановка кадров осуществлялась в соответствии с п.3.

5. Снижение активности жизненной позиции: определяющий мотив поведения - избежать конфликта с руководством. Следствия: "Мне приказано - я делаю", т.е. буквальное следование инструкциям, равнодушие к производству, уход в мир личных интересов, "позиция винтика".

6. Традиция сохранения в тайне информации об аварийных случаях, что исключает возможность обучения персонала и воспитания чувства коллективной ответственности.

7. Внутренняя установка на выполнение задания (плана производства электроэнергии, программы испытаний и т.п., но не на безопасность).

Перечисленное свидетельствует об отсутствии основных элементов культуры безопасности. Следует отметить еще ряд негативных факторов:

1. Работа оператора может быть успешной, если технические характеристики управляемой системы соответствуют возможностям человека (профессиональная подготовка, психофизиологические и психологические характеристики). Это не было обеспечено в данном случае.

2. Управление блоком осуществлялось на основании богатого операторского опыта, знаний физических и теплофизических процессов и интуиции.

Успешный выход из нестандартных ситуаций в прошлом укрепляет уверенность в личных возможностях операторов и способствует потере бдительности у персонала, а иногда порождает и особую "доблесть" риска ("Прорвемся, как и в прошлый раз!").

3. Блочный щит управления был выполнен без учета требований эргономики (количество и важность информации).

Все эти негативные и позитивные обстоятельства реализовались во время аварии.

Оценка масштабов аварии, доступная специалистам, не была доведена до сведения жителей города: соблюдать порядок, не сеять панику, ждать команд свыше - вот тон руководящих указаний.

Мотивы любого поступка определяются объективными условиями и индивидуальными особенностями человека. Оперативной задачей на ночь с 25 на 26 апреля было завершение испытаний по выбегу ротора турбины. Развитие событий послужило тому, что положительные личностные качества персонала - дисциплинированность, исполнительность - обратились в свою противоположность -

безответственность и небрежность. Причина: привычка к существующему порядку вещей - "главное, чтобы не было конфликта с начальством", пассивная подчиненность, а не критическая позиция и личная ответственность за безопасность.

Возврат к проявлению личностных качеств в неискаженной служебной иерархией виде произошел после аварии. Оперативный персонал 5-й смены и прибывшие по тревоге работники АЭС проявляли выдержку, решительность, мужество, хотя по признакам острой лучевой болезни, появившимся в первые часы после аварии, представление об уровне радиации у них было. Поступки отражали высокую эмоциональную напряженность, активность гражданской позиции, имели целесообразный характер. В основе их лежали ощущения причастности к происшедшему событию, которое может иметь непредсказуемые последствия, ярко проявились чувства ответственности и долга в условиях непосредственной опасности для жизни. Однако в ряде случаев отмечалась и неадекватная реакция на опасность: демонстрация бесстрашия, легкомысленный интерес к тому, как выглядит помещения 4-го блока, куски реакторного графита, разбросанные внутри и вне здания. В единичных случаях отмечалось и повышенное чувство опасности, нежелание покидать защищенное от радиации помещение даже для выполнения служебного задания.

После завершения первой, наиболее эмоционально напряженной фазы ликвидации аварии, отмечался в ряде случаев уход от инициативной, активной позиции, готовность подчиниться любому решению "сверху".

На развитие опасной ситуации оказывает влияние субъективное восприятие риска. В зависимости от того, как люди воспринимают опасные события при различных формах деятельности, формируется их поведение. У экспертов представление о риске от какой-либо деятельности однозначно связано со статистикой смертности от нее, у обычных же людей такой связи нет.

Характерный эксперимент, поставленный сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований (ВНИИСИ), был направлен на выявление особенностей субъективного представления людей о степени риска, связанного с различными видами деятельности. Он предполагал ранжирование испытуемыми из числа обычных граждан тринадцати видов риска. Первое место по степени риска для общества (социального риска) в такой ранжировке заняли стихийные бедствия, второе – аварии на АЭС, а последнее - поездки на железнодорожном транспорте и активный отдых (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1
Ранжировка суждений о риске

Вид риска	Ранжировка риска
Стихийные бедствия	1
АЭС	2
Загрязнение окружающей среды	3
Потребление алкоголя	4
Добыча полезных ископаемых	5
Использование автотранспорта	6
Тепловые электростанции	8
Курение	8
Гидроэлектростанции	8
Полеты на самолетах	10
Рентген в медицине	11
Поездки на железнодорожном транспорте	12
Активный отдых	13

Полученная ранжировка неадекватна реальному положению вещей. Несомненно, что ущерб от стихийных бедствий велик и ежегодное число жертв стихийных бедствий оценивается в 250-300 тыс. человек. Однако число жертв курения составляет до 2,5 млн. чел. каждый год, что в восемь раз превышает число жертв, связанных с использованием автотранспорта.

Как показали исследования, на субъективное восприятие риска влияет множество факторов. Главными из них принято считать следующие:

Оценка вероятностей наступления событий. Оценка вероятности наступления каких-либо событий является наиболее часто используемой операцией как в формальных методах принятия решений в условиях риска, так и в методах, основанных на профессиональных суждениях. Возможности человека правильно определять вероятности неопределенных событий существенно влияют на его способности оценивать степень риска в целом. Эти оценки нарушают многие фундаментальные принципы рационального поведения.

Люди часто переоценивают надежность малых выборок, полагая, что их свойства характерны для всей совокупности. Малая выборка рассматривается как репрезентативная для суждения о характеристиках генеральной совокупности (эффект "репрезентативности"). Вероятности того или иного события часто определяются на основе того, как часто люди сталкивались с ними в прошлом (эффект "представительности"). Событие считается более вероятным, если человек может его представить, вспомнить аналогичные примеры. Это ведет к переоценке вероятностей ярких, запоминающихся событий и недооценке менее запечатленных в памяти.

Замечено, что люди плохо учитывают априорные вероятности и при оценке вероятности стремятся использовать преимущественно свой опыт ("эгоцентризм"), игнорируя и считая ненадежной любую другую априорную информацию. При оценке надежности оборудования технических систем это может приводить к большой переоценке вероятности аварий, если последние имели место, и к недооценке - в случае безотказной работы оборудования.

Известно также, что человек недостаточно охотно меняет уже сложившиеся представления о вероятностях тех или иных событий под влиянием вновь поступившей информации. Если информация не согласуется с его представлениями, он склонен считать ее случайной и ненадежной ("консерватизм").

Значительное влияние на оценки людей оказывают точки отсчета. Когда в экспериментах людям задавали разные значения вероятности события в качестве первого приближения и затем просили их скорректировать с учетом изменившихся исходных данных, ответы существенно отличались друг от друга и тяготели к первоначальным точкам отсчета (эффект "якоря").

Исследования показали, что человек, как правило, недооценивает вероятность очень вероятных событий и переоценивает вероятность маловероятных событий. Одновременно существует гипотеза, что человек не

воспринимает вероятности порядка 10^{-6} , т.е. когда вероятность неблагоприятного исхода составляет один шанс из миллиона.

При оценке вероятностей двух последовательных независимых событий люди стремятся установить между ними связь (иллюзия "Монте-Карло"). При оценке вероятности совершения одновременно двух независимых событий люди часто игнорируют тот факт, что эта вероятность не может превосходить вероятности каждого из них в отдельности ($P(A)$ или $P(B)$ больше $P(A \text{ и } B)$).

Значимость последствий. Большую роль в оценке риска играет то, какие потребности индивидуума могут быть удовлетворены в результате осуществления благоприятного исхода, и какую угрозу ему может представлять неблагоприятный исход. Негативные последствия могут быть ранжированы с точки зрения их значимости для человека. Наиболее значимы последствия, ставящие под угрозу жизнь и здоровье человека, далее идут разнообразные последствия, связанные с семейным благополучием, карьерой и т.д.

Распределение угрозы во времени и пространстве. На восприятие риска оказывает большое влияние характер распределения негативных последствий во времени и пространстве. Так, чем ближе местожительство людей к опасному предприятию, тем больше беспокойства они проявляют. Замечено также, что люди относятся терпимее к частым, распределенным во времени, мелким авариям, чем к более редким катастрофам с большим числом жертв, даже если суммарные потери в первом случае гораздо больше, чем во втором.

Связь между возможными последствиями и их вероятностями. Опыт деятельности страховых фирм показывает, что люди по-разному оценивают степень риска от ситуаций с возможно малой вероятностью наступления катастрофических событий (землетрясения, наводнения) и ситуаций с большей вероятностью менее значимых потерь (автопроисшествие). Они активно пытаются уберечь себя от последних, например покупкой страховок, и проявляют безразличие к первым. Психологи объясняют этот феномен тем, что люди в практической деятельности стараются не думать о маловероятных событиях.

Контролируемость ситуации. Возможность контроля за развитием событий, использование своих навыков для избегания негативных последствий оказывает большое влияние на оценку приемлемости всей ситуации. Замечено, что люди предпочитают принимать участие в таких событиях, где многое зависит от их личного мастерства.

Возможность свободного выбора. Имеются в виду два вида риска – добровольный и обязательный. Использование большинства опасных производственных технологий носит для людей "обязательный" характер в отличие от таких видов деятельности, как употребление сигарет, занятие горнолыжным спортом и т.п. участи в которой происходит на добровольной основе. Замечено, что чем больше степень добровольности в использовании

той или иной технологии, тем больше уровень риска, на который согласны идти люди.

Степень новизны технологии. Общество проявляет большую терпимость к старым, хорошо им известным технологиям, чем к новым, относительно которых у них мало опыта.

Личностные характеристики лица, принимающего решения (свойства личности). Этот фактор оказывает влияние, как на субъективную оценку вероятностей событий, так и на оценку серьезности возможных последствий. Он же играет существенную роль и при оценке опасности ситуации в целом. Пол, возраст, образование, образ жизни, эмоциональный настрой, социальные нормы и обычаи общества, степень доверия к органам власти, техническим экспертам, средствам массовой информации и другие факторы влияют на поведение человека при оценке уровня риска и безопасности.

Таким образом, люди в условиях реализовавшейся опасности проявляют лишь те качества, которые в них были заложены, развиты и укреплены, и которые неоднократно можно было наблюдать доопасного события.

С этой точки зрения культура безопасности, гуманизация технического образования (необходимость изучения роли различных аспектов человеческого фактора на работу технических систем), воспитание и привитие позитивной общечеловеческой культуры специалисту должны стоять в одном ряду с развитием техники, и занимать тем более ответственную позицию, чем более опасной является та или иная отрасль техники.

5.2 Методология прогнозирования ошибок

Методы прогнозирования частоты ошибок человека при анализе надежности технических систем, обычно включают следующие этапы:

- составление перечня основных отказов системы;
- составление технологий работ эксплуатационного и обслуживающего персонала;
- оценивание частоты ошибок человека при реализации технологических операций;
- определение влияния частоты ошибок человека на интенсивность отказов технической системы;
- разработка рекомендаций, внесение необходимых изменений в систему.

Одним из основных методов анализа надежности работы человека является построение дерева вероятностей (дерева исходов). При использовании этого метода задается некоторая условная вероятность успешного или ошибочного выполнения человеком каждой технологической операции либо вероятность появления соответствующего события. Исход каждого события изображается ветвями дерева вероятностей. Полная вероятность успешного выполнения определенной деятельности находится суммированием соответствующих вероятностей в конечной точке пути

успешных исходов на диаграмме дерева вероятностей. Этот метод с некоторыми уточнениями может учитывать такие факторы, как стресс, вызываемый нехваткой времени; эмоциональная нагрузка; нагрузка, определяемая необходимостью принятия и реализации решений в нештатных ситуациях.

Следует заметить, что данный метод обеспечивает хорошую наглядность, а связанные с ним математические вычисления просты, что в свою очередь снижает вероятность появления вычислительных ошибок. Кроме того, он позволяет специалисту по инженерной психологии оценить условную вероятность безопасного выполнения работ, которую в противном случае можно получить только с помощью решения сложных вероятностных уравнений.

ПРИМЕР. Оператор выполняет два задания - сначала x , а затем y . При этом он может выполнять их как правильно, так и неправильно. Другими словами, неправильно выполняемые задания это ошибки, которые могут появляться в данной ситуации. Требуется построить дерево возможных исходов и найти общую вероятность неправильного выполнения задания. Предполагается, что вероятности статистически независимы.

Для решения поставленной задачи воспользуемся деревом возможных исходов, изображенным на рис. 5.2 и введем следующие обозначения:

- P_s - вероятность успешного выполнения задания;
- P_f - вероятность невыполнения задания;
- s - успешное выполнение задания;
- f - невыполнение задания;
- P_x - вероятность успешного выполнения задания x ;
- P_y - вероятность успешного выполнения задания y ;
- P_{fx} - вероятность невыполнения задания x ;
- P_{fy} - вероятность невыполнения задания y .

Согласно рис. 5.2, вероятность успешного выполнения задания равна $P_s = P_x(P_y)$. Аналогично находится выражение для вероятности невыполнения задания:

$$P_f = P_x + (P_y + = 1 - P_x(P_y)).$$

Из рис. 5.2 следует, что единственным способом успешного выполнения системного задания является успешное выполнение обоих заданий - x и y . Именно поэтому вероятность правильного выполнения системного задания определяется как $P_x(P_y)$.

Для оценки надежности работы операторов технических систем необходимо учитывать следующие факторы:

- качество обучения и практической подготовки;
- наличие письменных инструкций, их качество и возможность неправильного их толкования;
- эргономические показатели рабочих мест;
- степень независимости действий оператора;
- наличие операторов-дублеров;
- психологические нагрузки.

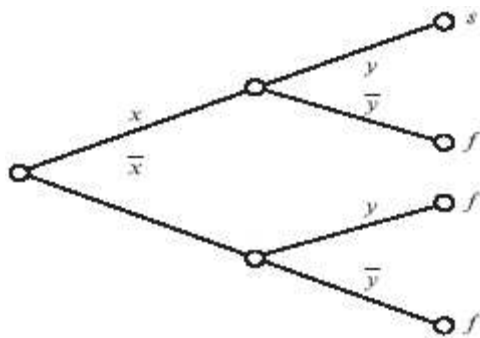


Рис. 5.2. Схема дерева исходов

Оценивание частоты ошибок человека следует проводить только после рассмотрения всех этих факторов, так как они влияют на качество работы оператора. Полученные оценки должны затем включаться в процедуру анализа дерева отказов.

5.3 Принципы формирования баз данных об ошибках человека

Базы данных об ошибках человека необходимы для анализа и прогнозирования безопасности рассматриваемой системы, предупреждения опасных ситуаций. Их можно разделить на следующие три категории.

Базы экспериментальных данных: содержат результаты лабораторных экспериментов и заслуживают большего доверия, чем базы данных иного типа, поскольку в меньшей степени подвержены влиянию субъективных оценок, способных приводить к ошибкам. Однако необходимо иметь в виду, что с какой бы тщательностью ни формировались подобные базы данных, в них всегда присутствует значительный элемент субъективности.

Базы эксплуатационных данных. Являются более реальными, чем базы экспериментальных данных, однако сформировать такие базы довольно трудно, поскольку для этого требуется тщательная регистрация действий в реальных условиях эксплуатации. Подобные базы данных дают более удовлетворительные результаты, чем лабораторные исследования, поскольку в лабораторных условиях часто ставятся надуманные задачи.

Известны крупные базы эксплуатационных данных о параметрах эксплуатации оборудования. Одной из них является "Система регистрации и оценок данных о качестве работы (OPREDS)", позволяющая автоматически следить за всеми действиями оператора. Она применяется в некоторых видах деятельности (например, в системах связи). Другим примером является "Банк данных о частоте ошибок по вине человека (SHERB)", созданный фирмой Sandy.

Ниже, в качестве примера, приведены оценки ошибок операторов из этого документа (WASH-1400).

1. Выбор не простого переключателя, а управляемого с помощью ключа (это значение не учитывает ошибки принятия решения в случае, когда оператор неправильно воспринимает ситуацию и полагает, что данный ключ выбран правильно) - частота ошибок 10^{-5} .

2. Выбор переключателя (или двух переключателей), не похожего по форме или по расположению на нужный переключатель при условии отсутствия ошибки в принятии решения; например, оператор включает переключатель с большой рукояткой вместо малого переключателя - частота ошибок 10^{-4} .

3. Обычная ошибка человека при выполнении операции (например, неправильное считывание таблички и в результате выбор ошибочного переключателя) - частота ошибок $3 \cdot 10^{-3}$.

4. Обычная ошибка (упущение) человека, если на месте управления отсутствует сигнализация о состоянии параметра, упущенного оператором (например, отказ, связанный с невозвращением клапана с ручным переключением в исходное положение после завершения промежуточной технологической операции – например перекачки топлива в ручном режиме управления топливной системой ВС) - частота ошибок 10^{-2} .

5. Простые арифметические ошибки при проведении самопроверки, но без выполнения повторных вычислений - частота ошибок $3 \cdot 10^{-2}$.

6. Частота ошибок $1/X$ - при условии, что оператор дотягивается до неправильного переключателя (или пары переключателей) и выбирает похожий переключатель (или пару переключателей). Здесь X - число неправильных переключателей (или пар переключателей), расположенных рядом с нужным переключателем. Формула $1/X$ применима, если имеется до пяти или шести переключателей. При большем числе переключателей частота ошибок уменьшается, так как оператор тратит в этом случае больше времени, отыскивая нужный вариант. При числе переключателей до пяти или шести оператор не думает об ошибке, и поэтому более вероятно, что он не ведет тщательный поиск.

7. Персонал другой рабочей смены не проверяет оборудование, если только не дается письменной директивы или специального перечня для проверки - частота ошибок 10^{-1} .

8. Обычная частота ошибок при условии напряженной работы оператора, при которых очень быстро происходят опасные действия, - частота ошибок 0,2-0,3.

Базы субъективных данных. Составляются на основе экспертных оценок. Создание таких баз обходится сравнительно дешево и не вызывает особых трудностей, поскольку большой объем информации может быть получен от небольшого числа опрошенных экспертов.

Чтобы базы субъективных данных можно было использовать при анализе надежности работы человека, необходимо:

- обеспечить требуемую точность данных;
- для баз субъективных данных характерны определенные погрешности, поэтому нужно иметь в виду, что их точность всегда меньше, чем точность баз экспериментальных данных;
- гарантировать представительность экспертных оценок.

Субъективные данные должны поступать только от тех лиц, которые считаются высококвалифицированными специалистами, способными справиться с этой работой.

Например, лучше получать данные от операторов (исполнителей работ), чем от специалистов по инженерной психологии. Следует учитывать конкретный характер работы. Необходимо тщательно выбирать используемый метод оценки с учетом характера оцениваемой работы. Нужно правильно установить уровень экспертного оценивания. Факторы, определяющие качество оцениваемой работы, должны выявляться на начальном этапе оценочной деятельности. Кроме того, необходимо четко определить типы ошибок, характерных для рассматриваемого процесса выполнения задания, четко определить процедуру оценивания. Для получения субъективных оценок экспертов необходимо четко описать

применяемую процедуру, например, это может быть метод парного сравнения.

Основное преимущество базы субъективных данных состоит в широком охвате всех параметров, по которым требуется иметь данные об ошибках.

Вопросы для самопроверки:

1. Типовые классификации видов ошибок персонала.
2. Основные группы качеств профессиональной надежности человека-оператора сложной технической системы.
3. Основные факторы опасности, способные провоцировать ошибки персонала.
4. Основные мотивы поведения людей в ходе профессиональной деятельности.
5. Основные факторы, определяющие субъективное восприятие риска человеком.
6. Влияние субъективного восприятия риска на поведение человека в опасных ситуациях. Основные пути повышения надежности человеческого фактора.
7. Структура анализа надежности человека-оператора сложной технической системы.
8. Использование дерева исходов для оценки надежности операторской деятельности.
9. Цели формирования баз данных об ошибках. Классификация таких баз данных.

6. ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

6.1. Международные правовые основы управления безопасностью

Усложнение технологий работ, использование широкой номенклатуры технических объектов привело к тому, что происходящие техногенные происшествя стали вызывать все более тяжелые последствия, оказывая пагубное воздействие на здоровье людей и окружающую природную среду. Впервые серьезное внимание мирового сообщества к крупным промышленным и транспортным происшествиям было привлечено после двух катастроф в середине 70-х годов прошлого века.

1 июня 1975г. в Великобритании (г.Фликсборо) на предприятии, производящем циклогексан, произошел взрыв, в результате которого 28 человек погибли, 89 получили травмы. Предприятию был нанесен значительный материальный ущерб. Спустя два года (10 июля 1976г.), в итальянском городе Севезо на химическом предприятии произошел выброс в атмосферу диоксида, имевший серьезные последствия для здоровья людей, окружающей среды и приведший к эвакуации нескольких тысяч человек. Основная причина таких тяжелых последствий - неподготовленность персонала к действию во время аварий.

Европейское сообщество отреагировало на эти аварии принятием так называемой "Директивы по Севезо" (Директива Европейского Сообщества от 25 июня 1982 № 82.501.ЕЕС по предотвращению крупных промышленных аварий), которая обязала руководителей опасных производств проводить оценку опасности или риска, принимать меры по подготовке к возможным авариям и предоставлять информацию об опасностях.

Через 10 лет (19 ноября 1985г.) произошла крупная авария в г.Мехико (пригород г.Мехико Сан-Хуан-Иксуатепек) - взрыв хранилища сжиженного нефтяного газа, в результате чего около 650 человек погибли, несколько тысяч получили травмы, а около 200 тыс. остались без крова или были эвакуированы. Выброс метилизоцианата на химическом предприятии в г.Бхопале (Индия) в том же году (3 декабря 1985г.) привел к распространению ядовитого газового облака. Из-за этого более 2000 чел. погибли (число погибших точно не было установлено, по разным оценкам цифра колеблется в пределах от 2 до 10 тыс. человек), более 200 тыс. были травмированы.

В этих случаях также сказалось практическое отсутствие соответствующих политики, законодательства и механизмов управления безопасностью на промышленных объектах. При расследовании аварий выяснилось, что предприятия и соответствующие государственные органы не имели конкретных планов действий на случай аварии, отсутствовала необходимая информация об используемых химических веществах и технологиях, не были вовремя приняты меры по предотвращению этих аварий. Откликом на эти события стали поправки в Директиве по Севезо для Европейских стран. В Великобритании в 1985г. была разработана и принята

основная часть законодательства по предупреждению крупных аварий, именуемая Системой нормативных актов - СИМАН - английская версия Директивы Севезо. Конгрессом США в 1986г. был принят Закон "О чрезвычайном планировании и праве населения на информацию" (поправки к Закону о Суперфонде) и некоторые другие документы.

Поскольку уровень и характер законодательства всегда отражают степень подготовленности общества к решению тех или иных проблем, далеко не во всех странах в 70-80-е годы начало формироваться законодательство по промышленной безопасности, оно было в то время достаточно редким явлением. В 90-е годы международные организации продолжали активную деятельность по урегулированию вопросов предупреждения промышленных аварий. Принятые в последующие годы Конвенция МОТ по предотвращению крупных промышленных аварий и Конвенция ООН о трансграничном воздействии промышленных аварий обязывают страны, подписавшие их, разработать политику в области обеспечения промышленной безопасности. Однако ратификация их возможна только при наличии соответствующего государственного правового регулирования в этих странах.

Крупные промышленные аварии 70-80-х годов, как уже отмечалось, заставили политиков и промышленников развитых стран пересмотреть свое отношение к вопросам промышленной безопасности. Возникла очевидная необходимость появления законов, регулирующих специфические вопросы промышленной безопасности, которые не нормируются ни трудовым, ни экологическим правом. В 80-е годы развивалось законодательство по промышленной безопасности не только в странах ЕЭС, но и в США, Канаде, Японии.

Структура систем законодательства в большинстве случаев, в т.ч. и в России, представляет многоступенчатую пирамиду, в вершине которой располагается Основной закон страны (Конституция) или Головной Закон, имеющий либо объединяющий вопросы охраны труда, экологии, гигиены труда и промышленной безопасности.

Ниже расположены законы по промышленной безопасности (не во всех странах), которые принимаются либо парламентом, либо региональными органами власти.

На следующей ступени - межотраслевые нормативные документы, принимаемые правительством на основании законов.

Следующая ступень - отраслевая нормативная и нормативно-техническая документация, утвержденная соответствующими компетентными государственными органами.

За ними следуют различные ведомственные инструкции, положения, правила и т.д.

6.2 Классификация промышленных объектов по степени опасности

Первое мероприятие в любой системе контроля за опасностями - разработка правительствами через компетентный орган соответствующих критериев, согласно которым должно определяться, какие объекты представляют наибольшую потенциальную угрозу для безопасности. В большинстве стран (США, ФРГ, Нидерландах, Норвегии, Великобритании, Франции) классификация промышленных объектов по опасности производится по наличию опасных веществ на объекте. Такой же подход предлагается в Директиве по Севезо и Конвенции о трансграничном воздействии промышленных аварий. В законодательных актах устанавливается перечень опасных веществ и их пороговых количеств, при превышении которых на промышленном объекте всякое происшествие относят к категории опасных. Однако в законодательной международной практике известны и другие подходы к идентификации. Например, законодательством Бельгии опасные промышленные объекты классифицируются по видам опасной деятельности (шахты и каменоломни; паровые машины; предприятия по производству взрывчатых веществ; ядерные реакторы и установки, использующие радиоактивные материалы; предприятия, производящие и использующие отравляющие вещества). В Греции используется иной классификационный признак - по видам опасности. Промышленные объекты классифицируются как опасные (возможность взрыва, пожара и т.п.), вредные для здоровья (дым, газы и т.п.), дискомфортные (шум, запах и т.д.).

6.3 Оценка опасности промышленного объекта

В соответствии с международным законодательством, а также законодательством ряда государств, для осуществления производственной деятельности на предприятиях, отнесенных к категории опасных, необходимо определить:

- возможные сбои, неполадки и ошибки, которые могут привести к аварии, а также сценарии возможных аварий;
- необходимые превентивные технические и организационные меры, которые должен принять предприниматель во избежание аварии;
- возможные последствия аварий;
- меры, которые должны быть приняты для локализации аварии и ликвидации ее последствий.

Для оценки опасности могут использоваться различные методы, такие как предварительный анализ опасности, анализ дерева ошибок и анализ последствий аварий, оценка риска. Какой бы метод ни применялся, целью оценки опасности является определение потенциальных причин отказов в работе или аварий на промышленном объекте. В большинстве стран критерии оценки опасности имеют качественные показатели. В ряде стран используют количественный показатель степени риска.

6.4 Декларация безопасности опасного промышленного объекта

Это одна из форм предоставления информации, закрепленная законодательно в странах Европейского сообщества для опасных промышленных объектов. Основная цель декларирования безопасности - заставить предприятие (опасный промышленный объект) провести оценку опасностей и информировать об этих опасностях компетентные (прежде всего государственные) органы. Декларация должна включать:

- информацию об объекте и процессах на нем с целью определения характера и масштабов использования опасных веществ и опасных технологий;
- перечень мер, направленных на безопасное функционирование объекта и на контроль за отклонениями от безопасного режима работ;
- идентификацию типа возможной аварии, ее вероятность и возможные последствия;
- инструкции на случай аварийной ситуации на объекте.

Декларация безопасности должна обновляться либо через определенные промежутки времени, установленные законодательством, либо по мере возникновения изменений, происходящих на объекте, либо при получении новой информации об опасных факторах.

6.5 Система лицензирования

Законодательствами многих стран предусматривается предоставление компетентным органам право ограничивать производство путем установления лицензионного порядка. В большинстве стран требования по лицензированию промышленной деятельности касаются промышленных объектов, отнесенных к категории опасных.

6.6 Экспертиза промышленной и транспортной безопасности

Проведение экспертизы промышленной и транспортной безопасности предусматривается на всех стадиях функционирования промышленных и транспортных объектов, начиная со стадии проектирования. Декларации безопасности также могут стать объектом экспертизы. В практическом руководстве Международного бюро труда "О предупреждении крупных промышленных аварий" говорится о необходимости проведения экспертиз промышленных объектов. Они могут проводиться как в обязательном порядке в соответствии с действующим законодательством, так и по поручению специально уполномоченных органов, местных органов власти или общественности.

6.7 Ответственность производителей или предпринимателей за нарушения законодательства и нанесенный ущерб

Вопросы ответственности администрации предприятия регулируются во всем блоке законодательства, касающегося вопросов охраны окружающей среды, труда и обеспечения промышленной безопасности. Эти вопросы обычно рассматриваются в головных законодательных актах. В США - это

Закон "О профессиональной безопасности и здравоохранении", в России - это "Закон об охране окружающей среды", "Закон о техническом регулировании», в Великобритании - закон "Об обеспечении охраны труда и здоровья", в Нидерландах и Норвегии - Законы "Об охране окружающей предприятие природной среды" и т.д. Усиление ответственности предприятий, на которых производят, перевозят, обрабатывают или хранят опасные вещества, регулируется в поправках 1990 г. к Закону США "О чистом воздухе". Администрация промышленных объектов несет ответственность за проектирование и безопасную эксплуатацию установки (транспортных объектов), происшедшие аварии и сведение к минимуму их последствий. Ответственность за последствия аварий по западному законодательству наступает вне зависимости от вины.

6.8 Учет и расследование

При проведении оценки опасности и составлении декларации безопасности необходимо учитывать опыт всех происшедших происшествий, анализировать причины их возникновения. Поэтому требование учета и расследования происшествий - обязательный элемент законодательства по промышленной и транспортной безопасности. Информацию о происшествиях администрация промышленного и транспортного объекта обязана предоставлять в компетентные органы исполнительной власти. Учету и расследованию причин мелких аварий (инцидентов) придается большое значение, поскольку любая мелкая авария (инцидент) при определенном стечении обстоятельств может привести к катастрофическим последствиям. В Европейском сообществе ведется банк данных по учету аварий. Члены ЕЭС обязаны предоставлять туда информацию о происшедших авариях. Такое требование тоже содержится и в национальных законодательных актах. Например, в Законе ФРГ "Об аварийных ситуациях" указано, что владелец установки обязан сообщить в компетентные органы об аварии, а также не позднее, чем в недельный срок сообщить о причинах аварии и мерах, принятых для ее локализации и ликвидации ее последствий.

6.9 Государственный контроль и надзор за промышленной безопасностью

Любая система надзора и контроля объектов повышенной опасности должна строиться на государственном уровне, т.е. должен существовать специальный орган (или органы), ответственный за промышленную безопасность и охрану труда. В России, например, Федеральная служба по надзору в сфере транспорта- государственная организация, занимающаяся надзором за безопасной эксплуатацией объектов транспорта включая объекты воздушного транспорта), Госатомнадзор – надзор за объектами ядерной энергетики , в США - это OSHA (Occupational Safety and Health Administration), FAA и EPA (Environmental Protection Agency), во Франции - служба промышленной экологии и Бюро оценки риска и промышленного

загрязнения, в Норвегии - Государственный орган по борьбе с загрязнениями и Директорат по предотвращению пожаров и взрывов.

Основная задача подобных органов - контролировать соблюдение требований действующего законодательства в области экологической и промышленной безопасности. На предприятиях должны находиться специально уполномоченные лица или органы, контролирующие соблюдение требований промышленной безопасности, что закрепляется законодательно.

6.10 Разработка планов по ликвидации аварий и локализации их последствий, а также планов по ликвидации чрезвычайных ситуаций

В странах, где законодательством регулируется предоставление Декларации безопасности, в которую входят планы по локализации аварий и ликвидации их последствий, требование о составлении таких планов в отдельных законодательных актах отсутствует. Однако в некоторых законах самостоятельно регулируются вопросы планирования, в частности в Законе США "О планировании на случай чрезвычайных ситуаций и о праве общественности на информацию". Для планирования действий при ЧС создаются местные комитеты, которые разрабатывают планы действий. В этих планах определяются объекты, на которых используются опасные вещества, маршруты их перевозок, содержатся инструкции и меры по ликвидации последствий аварий на промышленной площадке и за ее пределами.

6.11 Российское законодательство в области промышленной безопасности

В России в настоящее время объективные тенденции, связанные с увеличением техногенных опасностей, усугубляются общим экономическим кризисом, который привел к медленным темпам реконструкции производств, отставанием сроков ремонтов и замены устаревшего оборудования, неудовлетворительному состоянию систем предупреждения и ликвидации аварий, ухудшению уровня подготовки и снижению квалификации специалистов и персонала. Наблюдается устойчивая тенденция быстрого износа и старения основных фондов. В целом по России износ основных фондов составляет 50,6%, а машин и оборудования - 57%. Особенно тяжелое положение сложилось на транспорте, а также в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности. Амортизационный износ оборудования достигает 80-85%, а в отдельных производствах 100%. Допускаются грубые нарушения установленных требований по эксплуатации объектов, проведению ремонта оборудования, перенос сроков ремонта без надлежащих технических обоснований, необоснованная замена регламентных видов ремонта на упрощенные.

Оценка состояния технической безопасности ряда объектов угольной, горнометаллургической промышленности показала, что большая часть производств не соответствует надлежащему уровню безопасности.

Кроме того, предприниматели и руководители предприятий в сложных экономических условиях вынуждены сокращать расходы. При отсутствии правовых ограничений они делают это в первую очередь за счет расходов на безопасность.

Ухудшение положения в области промышленной безопасности также обусловлено слабым механизмом ответственности предприятия за нарушения требований безопасности. Нормы, содержащиеся в КЗОТе, административном и уголовном кодексах, явно недостаточны и ориентированы на административно-командную систему управления. Например, в них предусмотрена несоразмерно низкая ответственность опасных предприятий за нарушение требований лицензии, несвоевременное продление сертификатов соответствия, предоставление декларации безопасности, непредставление соответствующей информации и за многие другие нарушения.

Поскольку промышленная безопасность как самостоятельная область права появилась недавно, то и контроль в этой области российским законодательством недостаточен.

Учитывая мировую практику в части правового обеспечения промышленной безопасности, в Российской Федерации введен с 1996 года принципиально новый подход в части обеспечения безопасности людей и защиты окружающей среды, основанный на процедуре декларирования безопасности промышленных объектов.

Правовые основы обязательной сертификации продукции и услуг с целью обеспечения контроля безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества были первоначально установлены в 1994г в Федеральном Законе «О сертификации продукции и услуг», а позднее, в 2002г дополнены и уточнены в ФЗ «О техническом регулировании».

Достаточно ново для российского законодательства - введение разрешительной системы для регулирования возможности ведения тех или иных видов хозяйственной деятельности. Впервые такой элемент регулирования появился в Законе "О предприятиях и предпринимательской деятельности". В ст. 21 записано, что отдельные виды деятельности могут осуществляться предприятием только на основе лицензии. Перечень таких видов деятельности, а также порядок лицензирования опасных видов промышленной деятельности регулируется Федеральным Законом «О лицензировании».

Большое внимание в законодательстве любого демократического государства уделяется информированию и участию населения и органов местного самоуправления в вопросах управления экологической и промышленной безопасностью. Почти все законы, имеющие отношение к вопросам промышленной безопасности и принятые в России после 1991 г., включают статьи, обязывающие информировать государственные органы и общественность по вопросам, которые регулируются тем или иным законом.

Особое место в российском законодательстве занял принятый 20 июня 1997 года Государственной думой Федеральный Закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".

Федеральный Закон предусматривает, определяет и устанавливает:

- лицензирование опасных видов деятельности в области промышленной безопасности;
- сертификацию технических устройств, применяемых на ОПО;
- требования промышленной безопасности к проектированию, изготовлению и приемке в эксплуатацию ОПО;
- требования промышленной безопасности к эксплуатации ОПО;
- требования промышленной безопасности по готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии на ОПО;
- производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности;
- техническое расследование причин аварии;
- экспертизу промышленной безопасности;
- разработку декларации промышленной безопасности;
- обязательное страхование ответственности за причинение вреда при эксплуатации ОПО;
- федеральный надзор в области промышленной безопасности в целях проверки выполнения требований промышленной безопасности;
- ответственность лиц, виновных в нарушении законодательства в области промышленной безопасности.

Вопросы для самопроверки:

1. Типовая структура законодательной и нормативной базы в области промышленной и транспортной безопасности.
2. Типовой состав обоснования безопасности для опасных промышленных объектов.
3. Декларация безопасности опасного промышленного объекта.
4. Государственное лицензирование опасных видов промышленной и транспортной деятельности.
5. Виды ответственности администрации опасных производств за нарушения промышленной и транспортной безопасности.
6. Расследование и учет происшествий на опасных промышленных и транспортных объектах.
7. Государственный контроль и надзор за безопасностью промышленной и транспортной деятельности.
8. Российское законодательство в области промышленной и транспортной безопасности.
9. Основные положения ФЗ «О техническом регулировании».

7. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В мировой практике широко применяются экономические механизмы регулирования промышленной и транспортной безопасности. К ним относятся штрафы, налоговые и страховые механизмы, квоты на загрязнение, общественные и государственные фонды и т.д.

Наиболее эффективный источник компенсации для нестационарных (аварийных) ущербов - фонды страховых компаний, образуемые из страховых сумм по страхованию ответственности (за ущерб, нанесенный деятельностью предприятия населению и окружающей среде). В случае запланированных ущербов от нарушений безопасной деятельности - специальные фонды, формирующиеся за счет штрафов, квот и т.д. Страхование ответственности в развитых странах обязательно и закреплено соответствующими законодательными актами. Конкретные системы тарификации страховых сумм должны определяться страховыми компаниями совместно с компетентными органами.

Основная задача всех мероприятий по промышленной и транспортной безопасности - предупреждение происшествий и подготовка к действиям при их возникновении. К наиболее важным мероприятиям относятся введение критериев для выявления опасных объектов, проведение оценки опасности и составление для опасных объектов на базе этих оценок Декларации безопасности, введение сертификации и лицензирования опасных видов деятельности.

7.1 Принципы оценки экономического ущерба от промышленных и транспортных происшествий.

Вред имеет различные лингвистические оттенки - экономический, экологический, моральный, социальный и т.д. В словаре русского языка он определяется как ущерб, порча.

Социальный вред в результате промышленных и транспортных происшествий проявляется в потерях физиологического, экономического, морального, генетического характера. Вред материальным ценностям направлен на ущемление имущественных интересов собственника - государства, кооперативных, общественных, частных предприятий и организаций, частных лиц. Он может быть в виде потерь технических объектов, неполученных доходов и пр.

При рассмотрении экономических, социальных и экологических сторон аварии или катастрофы целесообразно оперировать понятиями прямого, косвенного и полного ущербов (рис. 7.1).

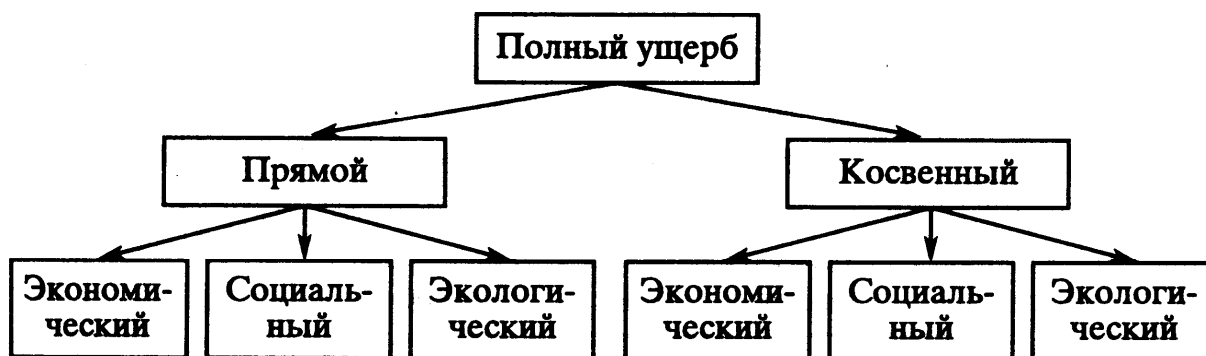


Рис. 7.1. Структура полного ущерба

Основные составляющие прямого ущерба.

Под **прямым ущербом** в результате происшествия обычно понимают потери и убытки всех структур экономики, попавших в зоны воздействия аварии или катастрофы. При рассмотрении структуры прямого ущерба выделяют прямой экономический, прямой социальный и прямой экологический ущербы.

Прямой экономический ущерб связан непосредственно с повреждением или утратой основных и оборотных фондов и включает затраты на ограничение развития особой ситуации (рис. 7.2). Этот вид ущерба, как правило, стараются представить с максимально возможной точностью в денежном выражении.

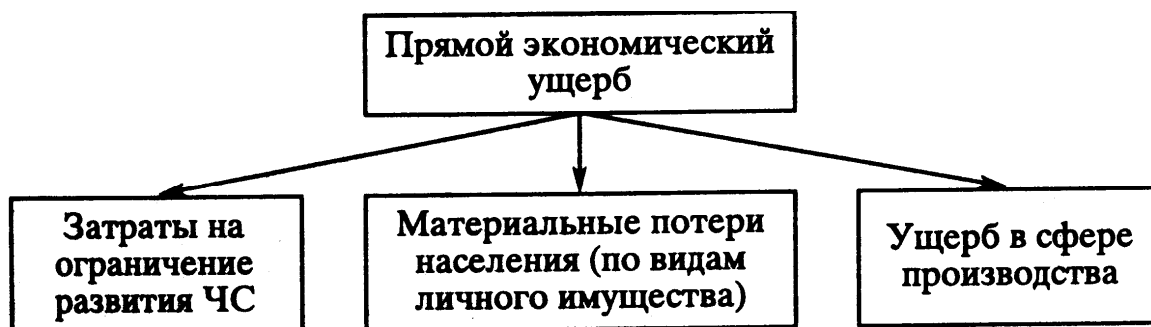


Рис. 7.2. Составляющие прямого экономического ущерба

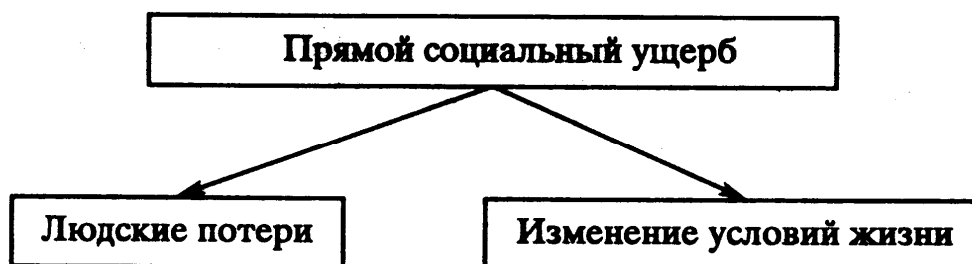


Рис. 7.3. Составляющие прямого социального ущерба

Прямой социальный ущерб непосредственно связан с воздействием на людей и их среду обитания (рис. 7.3).

Прямой экологический ущерб связан с ущербом природной среде (рис. 7.4).

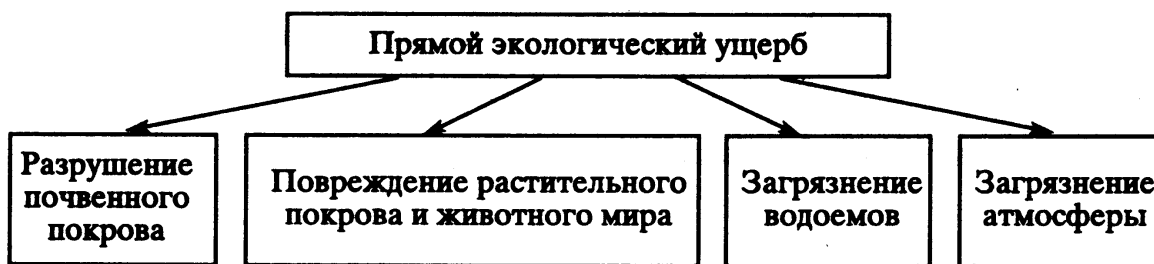


Рис. 7.4. Составляющие прямого экологического ущерба

Основные составляющие косвенного ущерба.

Косвенный ущерб включает убытки, понесенные вне зоны прямого воздействия происшествия. Как и прямой ущерб, косвенный ущерб делится на экономический, социальный и экологический ущербы.

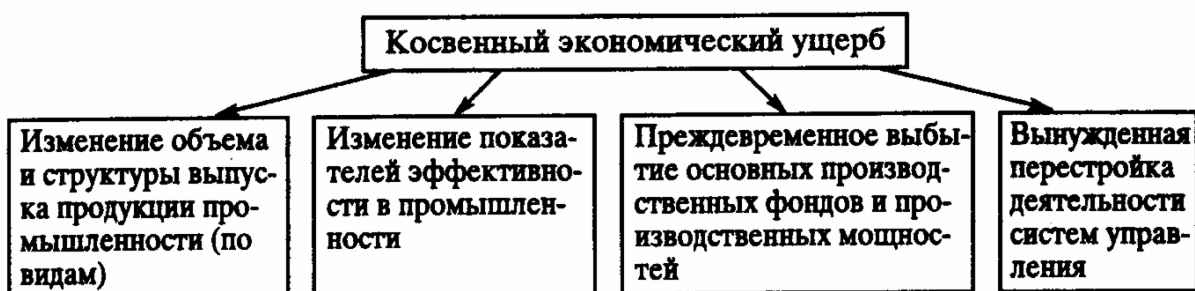


Рис. 7.5. Факторы, формирующие косвенный экономический ущерб

Косвенный экономический ущерб представлен на рис. 7.5.

Факторы, формирующие *косвенный социальный ущерб*, представлены на рис. 7.6.

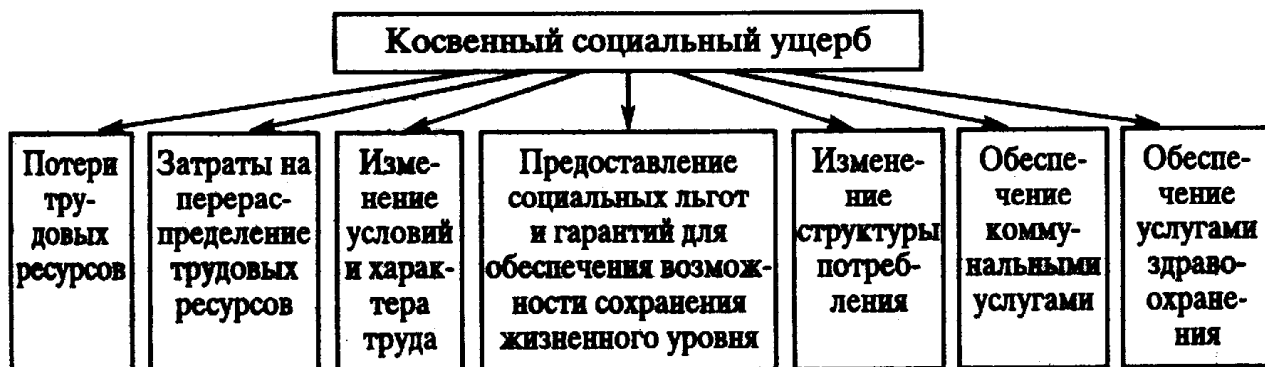


Рис. 7.6. Факторы, формирующие косвенный социальный ущерб

Косвенный экологический ущерб формируется за счет факторов, представленных на рис. 7.7.

Анализ последовательности событий и ущерба от происшествия показывает, что по мере продвижения по дереву событий ослабевает влияние исходного события и возрастают трудности оценки косвенного ущерба. Поэтому в качестве оценки косвенного ущерба могут использоваться

экспертные оценки в долях от прямого ущерба, без детализации и анализа отдельных составляющих.

Переход от натуральных ущербов к экономическим эквивалентам на сегодняшний день представляет весьма сложную задачу, поскольку нормативные показатели платы за причиненный ущерб зачастую отсутствуют. Как показывает практика, приводимые статистические данные о потерях отражают лишь прямые потери (стоимость основных фондов, продуктов производства). Подобное положение характерно не только для нашей страны. Так, по расчетам американских исследователей, прямые потери при аварии на атомной станции Тримайл Айленд оцениваются немногим более 1 млрд. долл. В то же время совокупные издержки по АЭС составили 130 млрд. долл. Из них 55 млрд. долл. обусловлены увеличением сроков сооружения АЭС с 9 до 13 лет. 38 млрд. долл. - установкой новых систем контроля, безопасности и переподготовкой персонала.

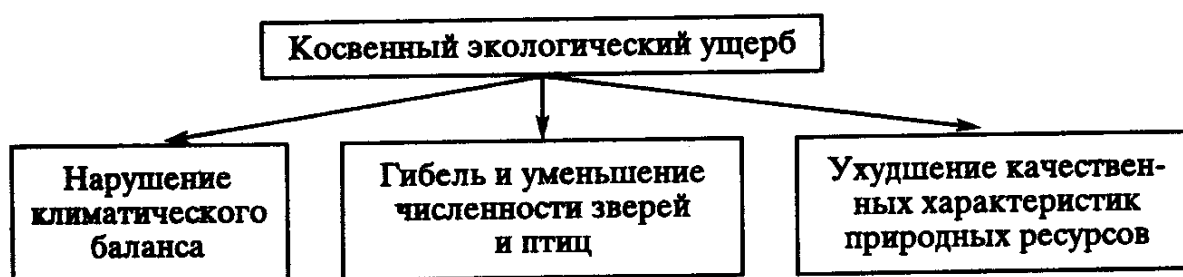


Рис. 7.7. Факторы, формирующие косвенный экологический ущерб

7.2 Общая структура анализа техногенного риска

Концептуальная основа анализа техногенного риска может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 7.8.

Общая логическая последовательность количественного анализа техногенного риска состоит из следующих этапов:

- Обоснование целей и задач анализа риска.
- Анализ технологических особенностей производственного объекта. Идентификация потенциальных опасностей и классификация нежелательных событий, способных привести к нерегулируемым скоротечным выделениям энергии.
- Определение вероятности (или частоты) возникновения нежелательных событий.
- Выделение характерных особенностей, определение интенсивностей, общих количеств и продолжительности опасных выделений энергии для всего спектра нежелательных событий.
- Определение критериев поражения.
- Построение полей потенциального риска вокруг каждого из выделенных источников опасности, в пределах которых вероятно определенное негативное воздействие для соответствующих объектов.

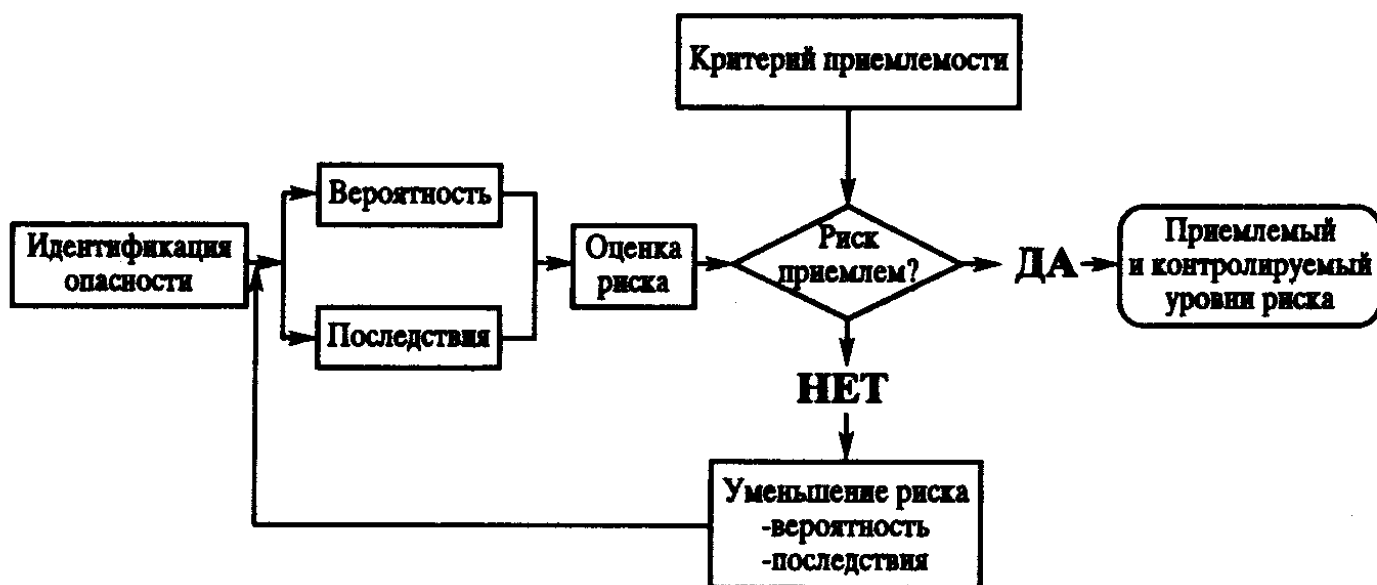


Рис. 7.8. Блок-схема анализа техногенного риска

- Расчет прямых и косвенных последствий (ущербов) негативного воздействия источников опасности на различные субъекты или группы риска с учетом конкретного количественного и пространственно-временного распределения вокруг источников. Анализ структуры риска. Исследование влияния различных факторов на уровень и пространственно-временное распределение риска вокруг источников.

- Оптимизация организационно-технических мероприятий по снижению риска до заданной величины.

В отдельных странах предпринимаются попытки выработать методiku подсчета вреда. Но пока она в официальном порядке не существует. Поэтому огромное значение на разных направлениях деятельности по управлению безопасностью - техническом, экономическом, организационном и юридическом - решающую роль приобретает превентивная работа, предупреждающая наступление любого вреда и в первую очередь, конечно, необратимого, трудно восстанавливаемого.

Особой разновидностью экологического вреда становится вред антропогенный, причиняемый человеку негативными воздействиями окружающей природной среды, его здоровью, состоянию будущих поколений. В его составе выделяют вред физиологический, причиняемый состоянию здоровья человека, и вред генетический. Такое подразделение имеет и правовое значение, в том смысле, что вред генетический необратим. Единственным средством нейтрализации наступления его вредных последствий является предупреждение негативного влияния антропогенных факторов на человека путем улучшения и оздоровления окружающей среды.

7.3 Принципы оценки экономического ущерба

Как показывает анализ зарубежных данных, ущерб от крупных промышленных и транспортных происшествий может составлять от 1 до 50 млн. долл. США, а потери от катастроф могут превышать 100 млн. долл.

США. При этом доля ущерба от этих событий может достигать 1% валового национального продукта страны. Несмотря на это, общепринятой единой методики оценки аварийного ущерба не существует. При подсчете национальных потерь от происшествий используются, как правило, данные страховых фирм и руководства предприятий.

Разработка методов оценки ущерба стимулируется необходимостью получения как можно более точной оценки возможного ущерба для определения тарифных ставок при страховании опасных объектов. Принципы расчета тарифных ставок согласуются с методологией количественного (вероятностного) анализа риска. В этом смысле под величиной риска подразумевается математическое ожидание возможного ущерба.

В качестве примера составляющих ущерба от аварии в табл. 7.1 приведены данные научно-исследовательского отдела по вопросам промышленной безопасности норвежской фирмы "Веритас" (DNV).

Как видно из таблицы, выплаты за гибель, травмирование и болезни людей приблизительно в 5-50 раз меньше убытков от нанесенного ущерба имуществу предприятия (обычно застрахованного) и сопоставима по величине с прямыми расходами на зарплату, научные исследования, обучение и пр.

На Форуме по геологоразведке и добыче (Семинар Нефтегазового консультативного фонда) в мае 1993г. предложены следующие слагаемые ущерба от аварий:

- затраты на медицинскую помощь;
- потерянное время;
- материальные и производственные убытки;
- повреждение оборудования и помещений;
- расследование;
- юридические затраты;
- чрезвычайные поставки (снабжение);
- очистка участка;
- сверхурочные работы;
- затрата времени руководством;
- штрафы;
- утрата квалификации (опыта).

Таким образом, в общем виде в совокупный ущерб должны входить стоимость разрушаемых аварией материальных ценностей, затраты на их восстановление, компенсацию пострадавшим от аварии людям, восстановление окружающей среды и другие социально-экономические, моральные, политические, культурные потери общества.

Таблица 7.1
Составляющие ущерба от аварии

Вид расхода	Стоимость
Травмирование и болезни: медицинские услуги компенсации (страховки)	1
Балансовая стоимость имущественного ущерба: зданиям оборудованию продукции задержки производства, простои расходы: юридические на поддержание средств на ликвидацию аварий рента, аренда вспомогательного оборудования	5—50
Незастрахованная, смешанная стоимость: научные исследования зарплата на время простоя затраты на обучение замены сверхурочные работы надзорное время время конторских работников уменьшенная отдача травмированных работников после выздоровления потери в бизнесе и репутации	1—3

При рассмотрении последствий аварий необходимо различать прямой и косвенный ущерб. Прямой ущерб возникает от непосредственного разрушения материальных ценностей, повреждения здоровья людей, затрат на ликвидацию аварии и восстановление объекта. Косвенный связан с отрицательным воздействием на производительные силы общества в целом (убытки смежных предприятий, уменьшение инвестиций, изменение финансовой политики и т.д.) или возникает из-за усиления его в ходе физико-химических природных цепных реакций, идущих непосредственно в природной среде и приводящих со временем к негативному воздействию на здоровье человека и окружающую среду.

Полная оценка косвенного ущерба, как правило, весьма приближительна, в частности из-за проявления скрытых эффектов. Согласно зарубежным исследованиям, косвенный ущерб может в несколько раз превышать прямой. При этом на одну аварию со значительным ущербом приходится от 100 до 600 аварий и неполадок без травмирования и разрушения. В нашей стране, по мнению ряда специалистов, косвенный ущерб от аварий превышает прямой в 5-7 раз, а катастрофы, аварии и инциденты соотносятся между собой примерно как 1:15:200 со средним периодом возникновения соответственно 10-15 лет, 8-12 мес. и 15-55 дней (результаты анализа, приведенного в Государственной научно-технической программе “Безопасность”). Эти данные показывают, что в методике по оценке экономического ущерба от аварии необходимо по возможности учитывать все виды потерь, в том числе и незначительные.

Формула оценки экономических потерь от аварии Π_0 имеет вид

$$\Pi_0 = \Pi_{н.б.} + \Pi_{о.р.} + \Pi_{н.в.} + \Pi_{с.э.}, \quad (7.1)$$

где $\Pi_{н.б.}$, $\Pi_{о.р.}$, $\Pi_{н.в.}$, $\Pi_{с.э.}$ - потери соответственно части национального богатства; из-за отвлечения ресурсов на компенсацию последствий аварий; из-за неиспользования возможностей вследствие аварии; социально-экономические.

$\Pi_{н.б.}$ включают в себя потери в результате уничтожения аварией основных производственных фондов; товарно-материальных ценностей (оборотных фондов, материальных ресурсов текущего потребления); личного имущества населения; природных ресурсов (экологический ущерб), а также потери, связанные с повреждением основных производственных и непроизводственных фондов.

При уничтожении основных фондов потери ($\Pi_{у(поф)}$) определяются исходя из остаточной стоимости S_0 за вычетом стоимости остатков S_m , годных к дальнейшему использованию, и ликвидационной стоимости S_l (рассчитывается для каждого вида материальных ценностей):

$$\Pi_{у(поф)} = S_0 - (S_m + S_l). \quad (7.2)$$

S_0 получаем из выражения

$$S_0 = S_{п} (1 - T_э H_a / 100), \quad (7.3)$$

где $S_{п}$ - первоначальная стоимость основных фондов данного вида (с учетом инфляции);

H_a - норма амортизационных отчислений по основным фондам, %;

$T_э$ - продолжительность эксплуатации основных фондов, годы.

Согласно представляемым в полномочные организации сведениям, $\Pi_{у(поф)}$ составляет основную долю величины ущерба от происшествий. При этом из-за изношенности основных фондов на некоторых предприятиях величина $\Pi_{у(поф)}$ может быть невелика и значительно меньше косвенных потерь (например, от недополученной прибыли).

$\Pi_{о.р.}$ из формулы (7.1) - потери в результате отвлечения ресурсов на восстановление объекта после аварии и пострадавших от аварии природных ресурсов (экологический ущерб).

$\Pi_{н.в.}$ - это потери от простоя объекта в результате аварии (упущенные экономические выгоды) и потери при выбытии трудовых ресурсов из производственной деятельности в результате аварии.

$\Pi_{с.э.}$ включают социально-экономические потери при травмировании людей во время аварии (выплата пособий по временной нетрудоспособности, пенсий лицам, ставшим инвалидами; расходы на клиническое и санитарно-курортное лечение); при гибели людей (выплаты пособий на погребение и пенсий по случаю потери кормильца в результате аварии).

Для выбора оптимальных стратегий функционирования объекта по критериям “стоимость - безопасность - выгода” представляет интерес прогноз ущерба от возможных происшествий с учетом вероятности их возникновения (риска). Математическое ожидание потерь части

национального богатства вследствие происшествия можно определить по формуле

$$M(\Pi_{н.б.}) = FB(C_{1уд} R_y + C_{2уд} R_n), \quad (7.4)$$

где F – масштаб происшествия;

B - вероятность анализируемой ситуации, 1/год;

$C_{1уд}$ - удельная стоимость материальных ценностей на объекте;

$C_{2уд}$ - удельная стоимость ремонтных работ, руб/ м²;

R_y - доля уничтоженных материальных ценностей на объекте;

R_n - доля поврежденных материальных ценностей на объекте;

$C_{1уд}$ и $C_{2уд}$ должны определяться с учетом инфляции.

Можно показать, что зависимость $M(\Pi_{н.б.})$ от B должна иметь максимум M_{max} . На практике вероятность B аварийной ситуации уменьшается с ростом тяжести ее последствий, а ущерб при этом ограничен энергетическим потенциалом объекта. Ущерб от частых, но незначительных инцидентов невелик и часто вообще не рассматривается с точки зрения аварийного ущерба. Определение наиболее опасного сценария аварии по критерию максимума M_{max} - одна из главных задач количественного анализа риска.

Наиболее сложно при определении экономического ущерба от аварии оценить экологический ущерб. Существующие предложения по разработке практически полезных методик требуют создания мощной системы экологического мониторинга. Несмотря на существование научно обоснованных подходов к оценке экологического ущерба, реальный учет влияния крупных аварий на окружающую среду ограничивается качественными оценками.

Чтобы определить экологический ущерб, можно использовать различные нормативные документы природоохранных ведомств, регламентирующих выплаты за загрязнение окружающей среды в предположении, что эти выплаты и есть экологический ущерб.

Для оценки экологических потерь в России существуют следующие нормативные документы:

“Временная методика определения сумм, подлежащих взысканию в порядке искового производства за загрязнение атмосферного воздуха”, утвержденная Государственным комитетом СССР по охране природы в 1989г.;

“Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды”, утвержденные Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ в 1993 г.;

“Порядок определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия”, утвержденный постановлением Правительства РФ от 28 августа 1992 г. № 632.

Методический подход к этим документам основан на эмпирическом принципе регулирования экологической безопасности путем взимания платы

(форма штрафных санкций) как за происшедшее, так и потенциально возможное загрязнение при выбросе вредных веществ. Плата взимается за следующие виды вредного воздействия:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты;
- размещение отходов;
- загрязнение земли, леса и др.

Устанавливаются два вида базовых нормативов платы за выбросы, сбросы и прочие воздействия в пределах:

- допустимых нормативов;
- установленных лимитов (временно согласованных нормативов).

Плата при сверхлимитном загрязнении, которое, как правило, реализуется при аварии, определяется путем умножения соответствующих ставок платы за загрязнение в пределах установленных лимитов на величину превышения фактической массы выбросов над установленными лимитами, суммирования по видам загрязнения и умножения этих сумм на пятикратный повышающий коэффициент. При этом учитываются показатели экологических факторов по регионам, степень опасности загрязняющего вещества, темпы инфляции.

Вопросы для самопроверки:

1. Основные экономические механизмы регулирования промышленной и транспортной безопасности.
2. Основные составляющие полного, прямого и косвенного ущерба от промышленных и транспортных происшествий.
3. Составляющие прямого экономического, социального и экологического ущерба.
4. Составляющие косвенного экономического, социального и экологического ущерба.
5. Структура анализа технического риска.
6. Основные элементы экономического ущерба от нарушения безопасности деятельности промышленных и транспортных объектов.
7. Обобщенная математическая модель оценки экономического ущерба от нарушения безопасности.
8. Модель прогнозирования экономического ущерба при планировании профилактических мероприятий.
9. Основы оценки экологического ущерба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абалкин Л.И. Экономическая безопасность России // Вестник РАН. 1997. Т.67. №9. С.771-776.
2. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В.Ф.Мартынюк, М.В.Лисанов, Е.В.Кловач, В.И.Сидоров. Безопасность труда в промышленности. 1995. №11. С.55-62.
3. А также в области ... увечий мы впереди планеты всей / И.Якубзон. Охрана труда и социальное страхование. 1996. №1. С.1-2.
4. Ахлюстин В.Н., Новиков Г.А., Щукин В.А. Возможный подход к прогнозам аварии в сложной технической системе // Безопасность труда в промышленности. 1992. №6. С.57-59.
5. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В.Л.Лапин, Ф.Н.Рыжков, В.М.Попов, В.И.Томаков. Курск, 1995. 238 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: Краткий конспект лекций для студентов всех специальностей/Под ред. О.Н. Русака. Л., 1991. 147с.
7. Беляев Б.М. Безопасность систем с техникой повышенного риска // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.4. М., 1997. С.23-36.
8. Блинкин В.Л. Методы анализа экзогенных составляющих рисков// Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.3. М., 1997. С.18-36.
9. Бондарь В.А., Попов Ю.П. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений // Безопасность труда в промышленности. 1997. №10. С.39 - 42.
10. Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: (системный подход в технике безопасности) / Пер. с англ. А.Н. Жовинского. М.: Машиностроение, 1979. 360с.
11. Васильев В.Г. Безопасность промышленного предприятия от внешних опасных факторов // Безопасность труда в промышленности. 1994. №10. С.31-35.
12. Воробьев Ю.Л. Основные направления государственной стратегии снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации на период до 2010 года // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.4. М., 1997. С.3-22.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Советское радио, 1972. - 552 с.
14. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании. М.: Экономика, 1977. 135с.
15. Гончаров В.А., Хлыстов В.П., Скопинцев В.А. Промышленная безопасность на объектах ТЭК России// Безопасность труда в промышленности. 1995. №1. С.38-39.
16. Декларирование безопасности промышленного объекта / А.С.Печеркин, В.И.Сидоров, Б.А.Красных и др. // Безопасность труда в промышленности. 1996. №7. С.2-17.

17. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М.: Мир, 1984. 318с.
18. Дюфур Г.А., Жаринов К.А., Лесохин А.И. и др. Технические средства управления уровнем безопасности химических производств // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т. 35. 1990. №4. С. 424-427.
19. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 176 с.
20. Евстафьев Н.Б., Яценко А.И. Количественные аспекты оценки опасности размещения объектов по уничтожению химического оружия // Журн. Всесоюзн. хим. общества им.Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №1. С. 119-121.
21. Еременко В.А. От безопасности в промышленности к безопасности проживания в промышленных регионах // Безопасность труда в промышленности. 1992. №7. С.2-21.
22. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая Среда. М.: Химия, 1991. 144с.
23. Закон Российской Федерации "О безопасности" (5.03.1992) / Сборник Законодательных актов Российской Федерации. М.: Издательство "Республика", 1993. С.6-18.
24. Зозуля И.В. Методология обеспечения промышленной безопасности // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.11. М., 1996. С.45-58.
25. Измалков А.В., Бодриков О.В. Методологические основы управления риском и безопасностью населения и территорий // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.1. М., 1997. С.48-62.
26. Кловач Е.В., Сидоров В.И. Законодательство в области промышленной безопасности // Безопасность труда в промышленности. 1994. №9. С.36-45.
27. Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств // Безопасность труда в промышленности. 1997. №2. С. 21-24.
28. Кох П.И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 176с.
29. Кравец В.А. Системный анализ безопасности в нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1984. 117с.
30. Краткий психологический словарь / Сост. Л.А. Карпенко; Под общ. ред. А.В.Петровского, М.Г.Ярошевского. М.: Политиздат, 1985. 431 с.
31. Кузьмин И.И. Безопасность и техногенный риск: системно-динамический подход // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С. 15-20.
32. Кузьмин И.И., Шапошников Д.А. Концепция безопасности: от риска "нулевого" - к "приемлемому"// Вестник РАН. Т.64. 1994. №5. С.402-408.
33. Ларичев О.И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности // Вестник АН СССР. 1987. №11. С.38-45.

34. Легасов В.А., Чайванов Б.Б., Черноплеков А.Н. Научные проблемы безопасности техносферы // Безопасность труда в промышленности. 1988. №1. С. 44 - 51.
35. Легасова М.М. Путь к концепции безопасности // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С.405-408.
36. Лисанов М.В., Печеркин А.С., Сидоров В.И. Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий // Экология промышленного производства. 1995. №6. С.49.
37. Лобанов Ф.И., Шапиро М.М. Экологический риск в промышленности. Оценка и управление // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №1. С.125-128.
38. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672с.
39. Озерская Т. Медицина катастроф // Охрана труда и социальное страхование. 1996. №8. С.49-51.
40. Меламедов И.М. Физические основы надежности. Л.: Энергия, 1970. 152с.
41. Методические указания по проведению анализа риска особо опасных промышленных объектов / Ю.А.Додонов, А.С.Решетов, В.И.Ефименко и др. // Безопасность труда в промышленности. 1995. №9. С.38-41.
42. Мечитов А.И., Ребрик С.Б. Изучение субъективных факторов восприятия риска и безопасности // Человеко-машинные процедуры принятия решений: Сб. научн. тр. Вып.11. М.: ВНИИСИ, 1988. С.77-89.
43. Муромцев Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М.: Химия, 1990. 144с.
44. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208с.
45. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.1: Методология. Организация. Терминология/ Под ред. А.И.Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. 224с.
46. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.5: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И.Патрушева и А.И.Рембезы. М.: Машиностроение, 1988. 316с.
47. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т.10: Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / Под общ. ред. В.А.Кузнецова. М.: Машиностроение, 1990. 336 с.
48. Научно-технический прогресс, безопасность и устойчивое развитие цивилизации / Б.В.Гидаспов, И.И.Кузьмин, Б.М.Ласкин, Р.Г.Азиев // Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С.9-14.
49. Обновленский П.А., Мусяков Л.А., Чельцов А.В. Системы защиты потенциально опасных процессов химической технологии. Л.: Химия, 1978. 224 с.

50. Оксенгендлер Г.И. Химические аварии // Природа. 1992. № 3. С.31 - 41.
51. Онищенко В.Я. Классификация и сравнительная оценка факторов риска // Безопасность труда в промышленности. 1995. №7. С.23-27.
52. От редколлегии (памяти академика В.А.Легасова). Журн. Всесоюзн. хим. общества им. Д.И.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С.403-404.
53. Перелет Р.А., Сергеев Г.С. Технологический риск и обеспечение безопасности производства. М.: Знание, 1988. 64 с.
54. Петров В.В. Экологическое право России: Учебник для вузов. М.: Издательство БЕК, 1995. 557 с.
55. Порфирьев Б.Н. Экологическая экспертиза и риск технологий. М.: ВИНТИ. Итоги науки и техники. Серия "Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов" 1990. Том 27. 204 с.
56. Потехин Г.С., Прохоров Н.С., Терещенко Г.Ф. Управление риском в химической промышленности // Журн. Всесоюзн. хим. общества им.Менделеева. Т.35. 1990. №4. С. 21-24.
57. Предупреждение крупных аварий: Практическое руководство; Пер. с англ. М.: МП "Рарог", 1992. 256 с.
58. Проценко А.Н. Региональная безопасность: концептуальные принципы управления и основные направления их реализации // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып.11. М., 1996. С.3 -26.
59. Риск как точная наука // Наука и жизнь. 1991. №3. С.2-5, 59-64.
60. Сандлер Дж. Техника надежности систем: Пер. с англ. М.: Наука, 1966. 300 с.
61. Словарь терминов по оценке событий на АЭС / В.К.Горелихин, И.П.Лазарев, А.Н.Нерсесян. М.: ЦНИИАтоминформ, 1992. 44с.
62. Состояние условий труда, заболеваемости и травматизма на производстве // Безопасность труда в промышленности. 1995. №11. С.2-7.
63. Состояние и меры по улучшению условий и охраны труда в Российской Федерации // Безопасность труда в промышленности. 1996. №8. С. 2-13.
64. Тевлин С.А. Культура безопасности на АЭС (конспект лекций) // Бюллетень центра общественной информации по Атомной энергии. 1997.№2. С.18-29; №3. С.16-21; №4. С.25-31.
65. Томаков В.И. Прогнозирование техногенного риска с помощью "Деревьев отказов": Учебн.пособие / Курск.гос.техн.ун-т. Курск, 1997. 99 с.
66. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. / Под ред. Р.И.Журавлева. М., 1978. 411с.
67. Уилсон А., Уилсон М. Управление и творчество при проектировании систем: Пер. с англ. М.: Советское радио, 1976. 135с.
68. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (20.06.1997г.) // Гражданская защита. 1997. №11. С.68-75.

69. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой; Под общ. ред. В.С. Сыромятникова. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
70. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах: Пер. с англ. Л.: Химия, 1983. 352 с.
71. Правила Федерального регулирования (название 29 -Труд) // Безопасность труда в промышленности. 1994. №6. С.55-61.
72. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. Б.А.Чумаченко. М.-Л.: Энергия, 1966.-232с.
73. Хроника наших потерь // Охрана труда и социальное страхование. 1994. №2. С.9.
74. Чрезвычайные ситуации: статистика и анализ. Доклад МЧС России за 1993 год // Гражданская защита. 1994. №3. С.4-7.
75. Шахраманьян М.А., Ларионов В.И., Нигметов Г.М. и др. Комплексная оценка риска от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Безопасность жизнедеятельности. 2001. №12. С. 8-14.
76. Мазур И.И. Экология строительства объектов нефтяной и газовой промышленности / М.: Недра, 1991. 279 с.
77. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. М.: Энергоатомиздат, 1989. 264 с
78. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. М.: Академкнига, 2006г. 118 с.
79. Руководство по управлению безопасностью полетов. //Doc 9859 AN/460. ICAO, 2006г.