

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

О.О. Герасимова, С.А. Карауш

МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И РИСКА

Учебное пособие

Томск
Издательство ТГАСУ
2017

УДК 62-5-192(075.8)

ББК 30.14я73

Герасимова, О.О. Методы анализа надежности и риска [Текст] : Г371 учебное пособие / О.О. Герасимова, С.А. Карауш. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. – 64 с.
ISBN 978-5-93057-782-2

В пособии рассмотрены основные положения теории надежности технических систем, основы теории риска. Даны качественные и количественные методы анализа надежности и риска. Предложены контрольные вопросы.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» всех форм обучения.

УДК 62-5-192(075.8)

ББК 30.14я73

Рецензенты:

доктор техн. наук, профессор кафедры «Охрана труда и окружающей среды» ТГАСУ **Б.С. Семухин;**

доктор техн. наук, профессор кафедры «Экологии и безопасности жизнедеятельности» ТПУ **Ю.М. Федорчук.**

ISBN 978-5-93057-782-2

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2017

© Герасимова О.О.,
Карауш С.А., 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Теория надежности	6
2. Основные понятия надежности	11
3. Анализ надежности и риска в системе «человек – машина – среда»	16
4. Показатели надежности	23
4.1. Показатели безотказности.....	23
4.2. Показатели долговечности	24
4.3. Показатели ремонтпригодности и сохраняемости	26
5. Классификация отказов	28
6. Основы теории риска	33
6.1. Система понятий: риск, надежность, безопасность.....	33
6.2. Критерии приемлемого риска.....	37
6.3. Анализ риска.....	42
7. Методы анализа надежности и риска	45
7.1. Методы «Проверочного листа» и «Что будет, если...?».....	45
7.2. Метод «Анализ вида и последствий отказов».....	46
7.3. Метод «Анализ опасности и работоспособности».....	49
7.4. Логико-графические методы анализа «Дерева отказов и событий».....	50
Библиографический список	63

ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием современной техники особую важность приобретают многочисленные вопросы повышения надежности различного рода технических систем. Комплексная автоматизация производственных процессов ставит перед техническими системами исключительно ответственные задачи, которые должны выполняться безупречно на протяжении всего периода работы автоматической линии, автоматизированного цеха или предприятия. Перерыв в работе технической системы может привести не только к ухудшению качества производимой продукции или к полному прекращению производственного процесса, но и к весьма серьезным авариям, выходящим за локальные рамки предприятия. Требования к безотказности механизмов и разного рода устройств приходится предъявлять не только к тем из них, которым поручено управление теми или иными процессами. К любой технической системе и изделию необходимо предъявлять требования надежности и безотказности.

Отказы относятся к малоизученным явлениям. Это объясняется, прежде всего, тем, что время возникновения отказа зависит от большого числа случайных факторов, его трудно рассчитать и еще труднее измерить. Отказу обычно предшествуют сложные внутренние изменения в системе. Эти изменения могут проявляться по-разному, в зависимости от типа устройств, места и характеристики отказа.

Особенность всякой технической системы состоит в том, что при отказе весьма ограниченного числа ее элементов может наступить отказ системы. Он может привести к тяжелым последствиям, т. к. современные технические системы решают исключительно важные задачи, их устройства отличаются большой стоимостью, а процессы управления и контроля максимально автоматизированы.

Сложными техническими системами и технологическими процессами управляет человек-оператор и для надежного управ-

ления системами недостаточно простого свода правил безопасности труда.

В настоящее время в мире значительно возрос удельный вес аварий, происходящих из-за неправильных действий технического обслуживающего персонала, что связано с недостаточностью профессионализма, а также умения принять оптимальное решение в сложной критической обстановке в условиях дефицита времени, неинформированностью и др.

Основная цель пособия – формирование у студентов знаний в области разработки и реализации мер повышения вероятности безотказного функционирования сложных технических систем, в области знаний методов анализа надежности и риска.

Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов по дисциплинам «Надежность технических систем и техногенный риск» и «Профессиональный риск и его оценка».

1. ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ

Научная дисциплина, изучающая общие методы и приемы, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, приемке, транспортировке и эксплуатации изделий для обеспечения максимальной их эффективности в процессе использования, а также разрабатывающая общие методы расчета качества устройств по известным качествам составляющих их частей, получила название *теории надежности*.

Теория надежности устанавливает закономерности возникновения отказов устройств и методы их прогнозирования; изыскивает способы повышения надежности изделий при конструировании и последующем изготовлении, а также приемы поддержания надежности во время их хранения и эксплуатации; разрабатывает методы проверки надежности изделий и способы контроля надежности при приемке больших партий продукции. Теория надежности вводит в рассмотрение количественные показатели качества продукции [1].

К любой технической системе предъявляются требования надежности и безотказности. Какой смысл в самолете, который не может безотказно совершать перелеты? Какой смысл в тракторе, который не в состоянии работать или в автомобиле, который не в состоянии перевозить грузы или пассажиров? Современная медицина широко использует разного рода технические системы как для диагностических и исследовательских целей, так и для выполнения ответственных функций во время и после операций. К их работе приходится предъявлять особо высокие требования, так как перебои в работе, скажем, искусственного сердца во время операции на сердце могут привести к летальному исходу.

Теория надежности является наукой комплексной, относящейся в первую очередь к компетенции инженера, физика, химика и экономиста. Однако большое число вопросов теории надежности по существу носит математический характер и требует для своего разрешения как уже известных математических средств,

так и разработки новых. Утверждения типа «я уверен, что такая конструкция будет надежнее, чем иная», «мы убеждены, что наша продукция лучше, чем изготавливаемая соседним предприятием», которые не имеют иных подтверждений, кроме личной уверенности, не могут служить основой для надежных выводов.

Для исследования и решения значительной части вопросов, возникающих в теории надежности, оказываются необходимыми методы теории вероятности и математической статистики. Как бы мы не стремились к сохранению условий постоянства в процессе производства, однородности исходных материалов и неизменности технологии изготовления, неизбежные колебания всех этих компонентов приводят к существенному разбросу свойств готовых изделий. Молекулярные свойства веществ, играющие исключительную роль при изготовлении полупроводниковых и электронных приборов, не теряют своего значения и для механических устройств. Процессы износа и упрочнения материалов неизбежно приводят к необходимости изучения их молекулярной структуры. Вместе с молекулярной структурой вещества в теорию надежности вносятся и математические методы, свойственные этой части физики, – методы теории вероятности и математической статистики.

Далее, в процессе эксплуатации, изделия попадают в разные условия: автомобилю приходится передвигаться как по совершенным дорогам, так и по проселку. В результате он подвергается не только переменным, но и случайным воздействиям. Если мы изготовили в определенных условиях из одной и той же партии сырья большое число определенного типа изделий, а затем собрали статистические данные о длительности их бесперебойной работы, то выясняется весьма специфическая картина. Длительность безотказной работы изделия имеет значительный разброс, и в отношении каждого определенного изделия нет возможности точно предсказать длительность его службы. В то же время относительно больших партий этих изделий можно делать достаточно определенные предсказания об их доле, способной проработать то или иное время, о причинах поломок изделий.

Перед теорией надежности зачастую возникают взаимно противоречивые задачи. В связи с усложнением функций, которые поручаются техническим системам различного типа, эти системы включают в себя все большее число элементов. Увеличение числа элементов приводит к уменьшению надежности их совокупного действия. Но в то же время ответственность выполняемых техническими системами заданий требует от них все большей надежности. Разрешение возникающего противоречия требует самого тщательного и всестороннего исследования проблем повышения надежности элементов и технических систем: возможность и целесообразность повышения надежности отдельных элементов, выбор режимов работы, отыскание целесообразных схем и конструктивных решений, расчет резервирования и оптимальных режимов профилактики и др. [2, 3].

Одной из задач теории надежности является разработка таких принципов конструирования сложной технической системы, которые позволяли бы получать системы, способные сохранять рабочее состояние даже при выходе из рабочего состояния некоторой части составляющих элементов. Биологические системы в высокой степени обладают этим ценнейшим свойством. Изучение биологических систем с точки зрения принципов их устройства и обеспечения надежности может дать в руки техники исключительно богатый набор средств и приемов, полезных для технического осуществления.

Недостаточная надежность сказывается на стоимости, на временных затратах, психологически – в виде неудобств, а в определенных случаях грозит безопасности людей и нации. Обычно потери за счет недостаточной надежности представляют собой не только стоимость выходящего из строя агрегата, но также и стоимость связанного с ним оборудования, которое портится или разрушается в результате отказа.

В соответствии с задачами теории надежности, возникает несколько групп вопросов, относящихся к обеспечению надежности.

На первой стадии создания изделия, когда его еще нет, и появляется только мысль о нем, уже необходимо думать о его надежности: какие материалы наилучшим образом способны выдерживать те нагрузки, которые предстоят во время работы изделию; какие схемы особенно благоприятны для того, чтобы сохранять устойчивость к внешним воздействиям; какие режимы следует выбирать для работы изделия; как обеспечить сохранность работоспособности при перегрузках и т. д.

Конструирование изделия завершено, перед запуском в серию оно должно быть испытано. Испытание на этой стадии создания обязательно должно предусматривать и проверку надежности изделия. Здесь очень важно отметить, что испытания должны быть достаточно представительными, чтобы по ним можно было судить не только об этих изделиях, изготовленных в тепличных условиях, но и об изделиях, которые будут изготавливаться серийно. На этой стадии следует также разработать систему правил, которых следует придерживаться при изготовлении изделий на заводе, приемке, транспортировке и эксплуатации для наилучшего сохранения надежности в работе.

Третья стадия обеспечения надежности наступает после сдачи принятого к производству изделия на предприятие. После тщательной проверки схемы надо убедиться в качестве исходных материалов, производственного оборудования, точности обработки, соответствия технологического процесса техническому заданию.

Проверка качества исполнения может осуществляться многими путями. Для массово- и крупносерийного производства, в частности, – методами текущего статистического контроля. Изготовлена партия, для проверки надежности изделий должны быть разработаны методы испытаний, а также планы проверки качества, включающие в себя количество испытываемых изделий, длительность и характер проверки.

Для периода эксплуатации необходимо разработать меры обеспечения надежности, включающие в себя периодичность

профилактических осмотров, замену элементов, правила поиска неисправностей и др.

Расчет надежности должен производиться на стадии проектирования. Многие решения и требования носят не математический, а чисто инженерный характер.

На рис. 1.1 представлены основные стадии обеспечения надежности изделий.

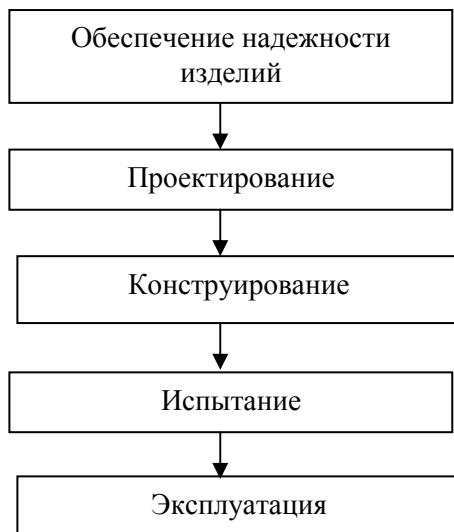


Рис. 1.1. Основные стадии обеспечения надежности изделий

Контрольные вопросы

1. Что такое теория надежности?
2. К каким техническим системам предъявляются требования надежности и безотказности? Приведите примеры.
3. В чем заключаются противоречия, возникающие перед теорией надежности?
4. Назовите стадии обеспечения надежности изделия.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ

Первостепенное значение надёжности в технике связано с тем, что уровень надёжности в значительной степени определяет развитие техники по основным направлениям: по автоматизации производства, интенсификации рабочих процессов и транспорта, экономии материалов и энергии.

Современные технические средства состоят из множества взаимодействующих механизмов, аппаратов и приборов. Например, автоматизированные линии насчитывают более миллиона деталей. Отказ в работе хотя бы одного ответственного элемента такой системы может привести к нарушению работы всей линии.

Недостаточная надёжность оборудования приводит к огромным затратам на ремонт, простоя оборудования, прекращению снабжения населения электроэнергией, водой, газом, транспортными средствами, невыполнению ответственных задач, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями, разрушением крупных объектов и с человеческими жертвами.

Надёжность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации.

В теории надёжности рассматриваются следующие обобщенные объекты (рис. 2.1):

1) *изделие* – единица продукции, выпускаемая данным предприятием, цехом и т. д.;

2) *элемент* – простейшая при данном рассмотрении составная часть изделия, в задачах надёжности может состоять из многих деталей;

3) *система* – совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для самостоятельного выполнения заданных функций.

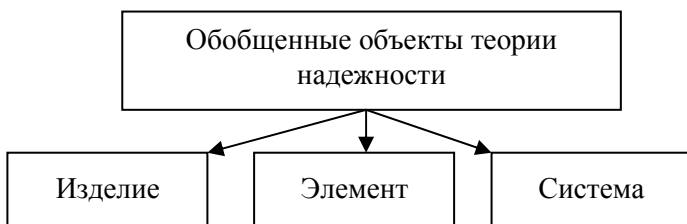


Рис. 2.1. Обобщенные объекты теории надежности

Понятия «элемент» и «система» трансформируются в зависимости от поставленной задачи. Машина, например, при установлении её собственной надёжности рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов – механизмов, деталей, и т. д., а при изучении надёжности автоматической линии – как элемент.

Изделия подразделяют на *невосстанавливаемые*, которые не могут быть восстановлены потребителем и подлежат замене, например электрические лампы, микросхемы и т. д., и *восстанавливаемые*, которые могут быть восстановлены потребителем, например станок, автомобиль, радиоприемник (рис. 2.2).

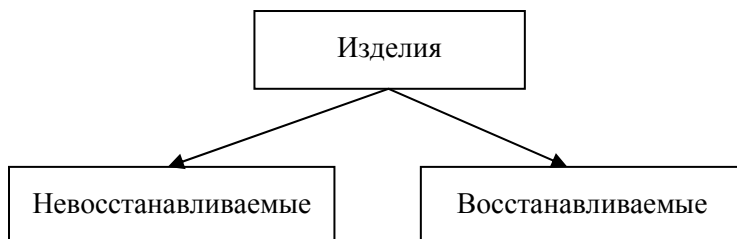


Рис. 2.2. Невосстанавливаемые и восстанавливаемые изделия

Надёжность изделия характеризуется следующими основными состояниями:

1) *работоспособность* – состояние изделия, при котором оно способно нормально выполнять заданные функции;

2) *исправность* – состояние изделия, при котором оно удовлетворяет всем не только основным, но и вспомогательным требованиям.

Так, изделие может быть работоспособным, но неисправным, например, в работающем радиоприёмнике не освещён индикатор настройки. В свою очередь, исправное изделие обязательно работоспособно.

Неисправность – состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации.

Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной утрате работоспособности.

Рассмотрим свойства изделий с точки зрения надёжности (рис. 2.3).

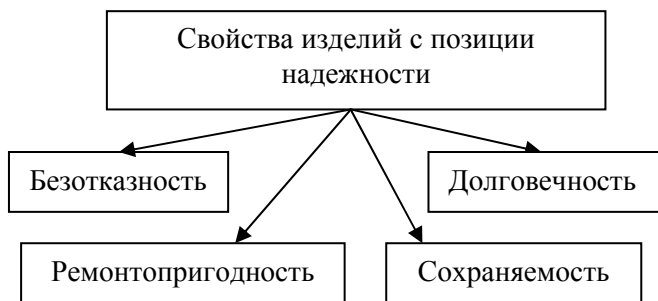


Рис. 2.3. Свойства изделий с позиции надёжности

Надёжность изделий обуславливается их безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью [4]. Таким образом, надёжность характеризуется свойствами, которые

проявляются в эксплуатации и позволяют судить о том, насколько изделие оправдывает надежды его изготовителя и потребителей.

Безотказность – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки. Под наработкой понимают продолжительность или объём выполненной работы объекта. Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей или с перерывом в работе большого комплекса машин, с остановкой автоматизированного производства или с браком дорогого изделия.

Долговечность – свойство изделия длительно сохранять работоспособность до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние изделия характеризуется невозможностью его дальнейшей эксплуатации, снижением эффективности или безопасности. Для невосстанавливаемых изделий понятия «долговечность» и «безотказность» практически совпадают.

Ремонтопригодность – приспособленность изделия к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособности путём технического обслуживания и ремонтов.

С усложнением систем всё сложнее становится находить причины отказов и отказавшие элементы. Так, в сложных электрогидравлических системах станков поиск причин отказа может занимать более 50 % общего времени восстановления работоспособности. Поэтому облегчение поиска отказавших элементов закладывается в конструкцию новых сложных автоматических систем. Важность ремонтнопригодности машин определяется огромными затратами на ремонт машин в настоящее время.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значение показателей безотказности, долговечности и ремонтнопригодности после хранения и транспортирования.

Практическая роль этого свойства особенно велика для приборов. Так, по американским источникам, во время второй

мировой войны около 50 % радиоэлектронного оборудования для военных нужд и запасных частей к нему вышло из строя в процессе хранения.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения следующим понятиям: «изделие», «элемент», «система», как обобщенным объектам надежности.

2. Дайте определение понятиям «восстанавливаемые» и «невосстанавливаемые системы». Приведите примеры.

3. Дайте определение основных состояний надежности: работоспособность, исправность, неисправность, отказ. Приведите примеры.

4. Дайте определение свойств изделий с точки зрения надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. Приведите примеры.

5. Может ли изделие быть работоспособным, но неисправным? Ответ обоснуйте, приведите пример.

6. Всегда ли исправное изделие работоспособно? Ответ обоснуйте, приведите пример.

3. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И РИСКА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – МАШИНА – СРЕДА»

Характерной особенностью современного производства является применение на одном предприятии, в цехе, а часто и на производственном участке, самых разнообразных технологических процессов, сложных по своей физико-химической основе, реализуемых на современном высокопроизводительном оборудовании с использованием широкой номенклатуры технологических материалов. При этом современному производству свойственна также быстрая смена технологий, обновление оборудования, внедрение новых процессов и материалов, которые часто недостаточно изучены с точки зрения негативных последствий их применения. Все это разнообразие, сложность и новизна технологий определяют, в свою очередь, многообразие, сложность и новизну проблем обеспечения надежности и безопасности, причем решать их часто приходится в сжатые сроки, не прерывая производство.

Необходимо обратить внимание на формирование у специалистов мышления, основанного на глубоком осознании главного принципа – безусловности приоритетов надежности и безопасности при решении любых инженерных задач, будь то в области научного поиска или проектно-конструкторских разработок, или в области организации и управления производством.

Учитывая вышеизложенное, можно говорить об актуальности, необходимости и одновременно значительной сложности изучения методов анализа надежности и риска современных технических систем.

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

Объектами могут быть различные системы и их элементы, в частности сооружения, установки, технические изделия, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали.

Упорядоченность означает, что относительно окружающей среды система выступает и соответственно воспринимается как нечто функционально единое.

Признаком системы является структурированность, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели. Обязательным компонентом любой системы являются составляющие элементы (подсистемы) и само понятие «элемент» условно и относительно, так как любой элемент, в свою очередь, всегда можно рассматривать как совокупность других элементов.

Поскольку все подсистемы и элементы, из которых состоит система, определенным образом взаимосвязаны, образуя данную систему, можно говорить о структуре системы. *Структура системы* – это то, что остается неизменным в системе при изменении ее состояния, при реализации различных форм поведения, при совершении системой операций и т. п. [5].

Любая система имеет, как правило, иерархическую структуру, т. е. может быть представлена в виде совокупности подсистем разного уровня, расположенных в порядке постепенности. При анализе тех или иных конкретных систем достаточным оказывается выделение некоторого определенного числа ступеней иерархии.

Системы функционируют в пространстве и времени. Процесс функционирования систем представляет собой изменение состояния системы, переход ее из одного состояния в другое. В соответствии с этим системы подразделяются на статические и динамические.

Статическая система – это система с одним возможным состоянием. *Динамическая система* – система с множеством состояний, в которой с течением времени происходит переход от состояния в состояние.

С позиций надежности и риска задачи исследования технических систем заключаются в том, чтобы увидеть, каким образом элементы системы функционируют в системе во взаимодействии с другими ее частями и по каким причинам может произойти отказ, грозящий негативными последствиями для человека и окружающей среды. Все проблемы возникают в системе «человек – машина – среда», следовательно, для их понимания необходимо изучить все звенья этой системы, имея в виду, что каждое может являться источником опасности.

Любая техническая система – потенциально опасна. Наличие в системе «человеческого» фактора приводит к возникновению отказов, аварийных ситуаций, несчастных случаев: увечью или гибели людей. Человек, не желая мириться с этим, всегда стремился установить причины происшедшего, выявить закономерности, получить информацию для познания и предотвращения подобных явлений.

Увеличение количества отказов, аварий, несчастных случаев при работе технических систем, использование сложных технологий и методов управления современным производством требуют проведения анализа надежности и риска производства с учетом социально-экономических факторов.

Качественный анализ надежности и риска в системе «человек – машина – среда» целесообразно проводить с помощью модели технической системы, состоящей из семи подсистем: «Технология», «Машины», «Материалы», «Рабочее место», «Персонал», «Среда», «Объект». Техническая система может быть представлена иерархически. Пример иерархического представления технической системы «Строительство» представлен на рис. 3.1. Преследуя цели выявления наиболее важных, с точки зрения опасности, элементов каждой подсистемы, существуют прямые и обратные связи. Данная модель позволяет через технологическое «взвешивание» показателей надежности и риска подсистем и их элементов судить о надежности и безопасности системы.

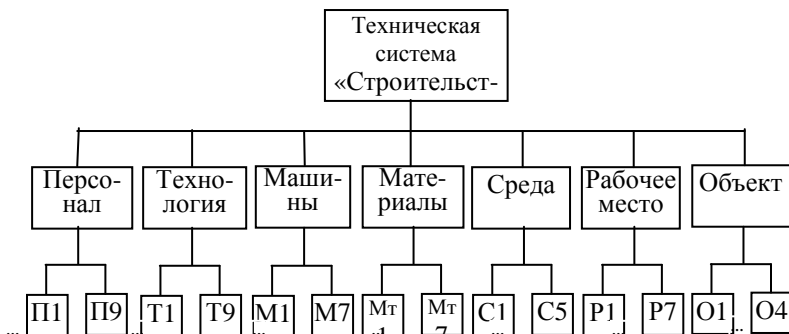


Рис. 3.1. Иерархическое представление технической системы

Предложенные классификаторы подсистем имеют следующие обозначения: П1 – водитель автомобиля; П2 – машинист СДМ; П3 – формовщик ж/б изделия; П4 – плотник-бетонщик; П5 – стропальщик; П6 – каменщик; П7 – монтажник; П8 – эл/газосварщик; П9 – прочие; Т1 – бетонные работы; Т2 – земляные; Т3 – каменные; Т4 – кровельные; Т5 – монтажные; Т6 – отделочные; Т7 – погружно-разгрузочные; Т8 – плотничские и столярные; Т9 – вспомогательные; М1 – СДМ; М2 – кран; М3 – грузоподъемный механизм; М4 – станки; М5 – эл/газосварный аппарат; М6 – ручной инструмент; М7 – прочие; Мт1 – ж/б изделия; Мт2 – элементы металлоконструкций; Мт3 – арматура; Мт4 – растворы, краски; Мт5 – воздействие материалов экстремальной температуры; Мт6 – взрывопожароопасные материалы; Мт7 – прочие; С1 – гололед; С2 – ветер; С3 – необычное (резкое) изменение температуры; С4 – снег; С5 – неровности рельефа; Р1 – кабина и кузов СДМ; Р2 – зона работы СДМ; Р3 – перекрытие; Р4 – лестница; Р5 – территория стройплощадки; Р6 – рабочее место у станка; Р7 – прочие; О1 – промышленные объекты; О2 – предприятия по производству строительных изделий (собственная база); О3 – гражданские объекты; О4 – автомобильные дороги.

Каждый из классификаторов подсистем технической системы должен отвечать следующим основным принципам: полнота, однозначность, достоверность, узнаваемость и относительная простота. Задача подробности (полноты) составления классификаторов тесно связана с задачей описания обстоятельств производственного травматизма, отказов оборудования, анализом их взаимосвязей и взаимовлияний.

Подсистемы находятся в тесной взаимозависимости, дополняя и раскрывая друг друга.

Подсистема «*Объект*» отражает тип системы, а также некоторые отличительные и специфические признаки.

Подсистема «*Персонал*» отражает наиболее важные признаки предприятия и работника, включая предусмотренные актом формы Н-1: численность персонала на предприятии; профессию; возможно использование информации о поле, стаже работы и др.

Через подсистему «*Рабочее место*» находят свое отражение пространственные, санитарно-гигиенические, метеорологические и иные признаки, характеризующие рабочее место и его специфику.

В подсистеме «*Машины*» раскрываются признаки применяемых технических средств, характерные отказы.

Подсистема «*Материалы*» отражает, наряду с собственно строительными материалами, также «сырье», «элементы», «изделия», «монтируемое оборудование», «конструкции» и др.

Подсистема «*Среда*» характеризует внешние воздействия, признаки, влияющие на остальные подсистемы, а также природные явления и особенности, имевшие место во время происшествя.

Подсистема «*Технология*» характеризует технологические процессы, рабочие операции, рабочие движения и отражает опасности и риски, обусловленные пространственно-временными схемами взаимодействия машин, персонала, а также материальных, энергетических и информационных потоков.

Классификаторы подсистем создаются для каждой технической системы индивидуально, с учетом специфики анализируемой технической системы и поставленных перед исследователем задач.

Создание условий для надежной работы оборудования и безопасного выполнения работ чаще всего зависит от детальности выявления отказов, производственных опасностей и рисков. Мероприятия по упреждению отказов оборудования, опасностей и рисков более эффективны, если они направлены в «опасные точки» конкретных видов работ (технологических операций, рабочих движений), т. е. к тем местам, где наиболее часто и тяжело проявляются отказы, несчастные случаи. Следовательно, необходима идентификация опасностей технических систем, а именно: различение, распознавание, оценивание и представление качественных и количественных сторон опасностей во взаимосвязи с пространственно-временными и технологическими характеристиками системы.

Опасности производства наиболее тесно взаимосвязаны с опасностями, проявляющимися в отношении персонала при выполнении определенного вида производственной деятельности (технологических процессов, рабочих операций, рабочих движений). Задачи специалистов по охране труда заключаются в создании условий для безопасного выполнения работ как на производстве в целом, так и на отдельных рабочих местах, в предупреждении отказов, производственного травматизма. Снижение уровня отказов, производственного травматизма, прежде всего, зависит от подробности выявления производственных опасностей (для отдельных технологических процессов, рабочих операций и рабочих движений).

Классификация подсистемы «Технология» на примере монтажных работ показана на рис. 3.2.

Под *технологическим процессом* понимается сумма технологически необходимых рабочих операций, осуществляемых непрерывно (одновременно или последовательно), в результате выполнения которых получается продукция определенной степени готовности.

Рабочая операция – это сумма технологически необходимых рабочих движений, неразрывно связанных по времени исполнения.

В результате выполнения этих рабочих движений осуществляется перемещение или качественное изменение предмета труда.

Рабочее движение – это технологически необходимое перемещение (или вращение) орудия труда или его рабочего органа, или предмета труда.

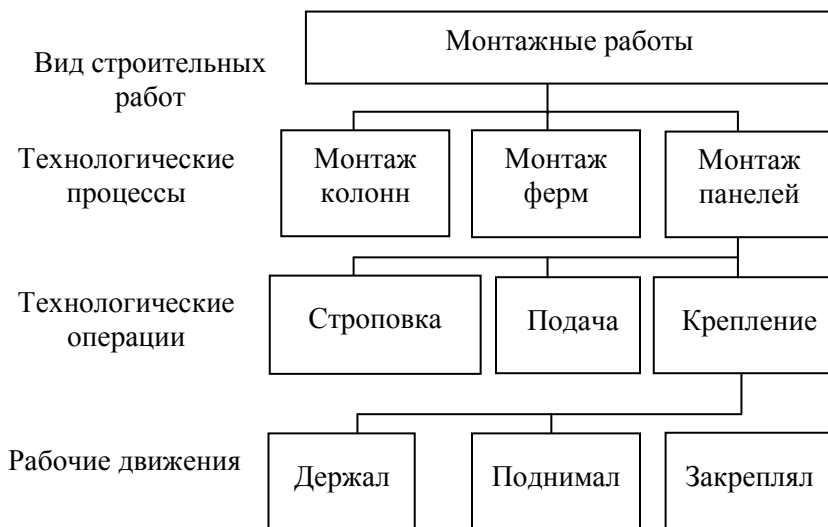


Рис. 3.2. Классификация подсистемы «Технология» на примере монтажных работ

Контрольные вопросы

1. Что такое техническая система?
2. Перечислите основные признаки системы.
3. Что представляет собой иерархическое представление системы?
4. Назовите основные принципы составления классификаторов подсистем технической системы.
5. Дайте определение следующим терминам: «технологический процесс», «рабочая операция» и «рабочее движение».

4. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Надёжность изделий в зависимости от их вида может оцениваться одним или несколькими показателями: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости [3–5].

4.1. Показатели безотказности

Показатели безотказной работы представлены на рис. 4.1.

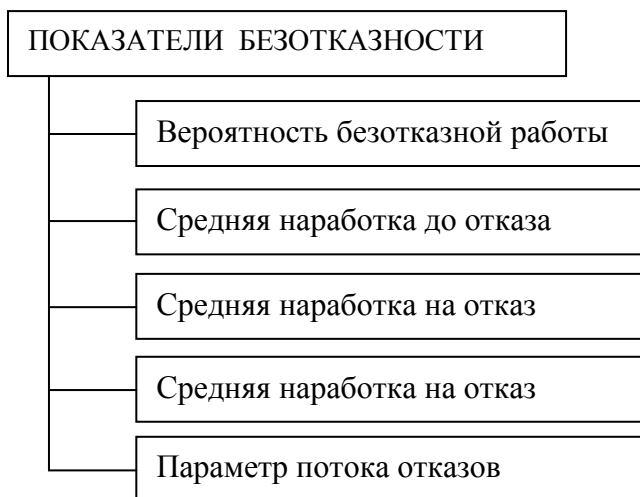


Рис. 4.1. Показатели безотказной работы

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет.

Под наработкой понимают продолжительность или объём выполненной работы объекта.

Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки до отказа невосстанавливаемого изделия.

Средняя наработка на отказ – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа

его отказов в течение этой наработки.

Интенсивность отказов – показатель надёжности восстанавливаемых изделий, равный отношению среднего числа отказавших в единицу времени объектов к числу объектов, оставшихся работоспособными.

Этот показатель более чувствителен, чем вероятность безотказной работы, особенно для изделий высокой надёжности.

Параметр потока отказов – показатель надёжности восстанавливаемых изделий, равный отношению среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольную малую его наработку к значению этой наработки.

4.2. Показатели долговечности

Показатели безотказной работы представлены на рис. 4.2.

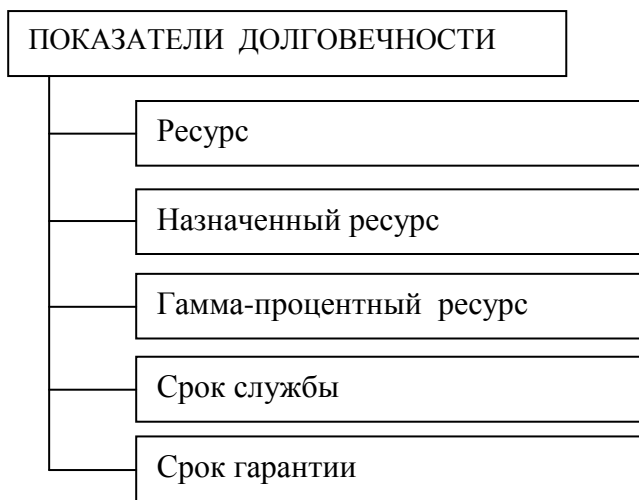


Рис. 4.2. Показатели долговечности

Ресурс – это наработка изделия до предельного состояния, оговоренного в технической документации.

Другими словами, ресурс – это чистое время работы изделия без учета остановок.

Различают ресурс до первого ремонта, межремонтный ресурс, назначенный ресурс, гамма-процентный ресурс и т. д.

Назначенный ресурс – это наработка изделия, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от состояния изделия. Назначенный ресурс указывается в технической документации из соображения безопасности и экономичности.

Назначенный ресурс может выражаться различными величинами: часами работы (например, для двигателей), количеством выстрелов (для орудий), километрами пробега и т. д.

Назначение ресурса обязательно для авиационной, военной и космической техники. В настоящее время аналогичное понятие всё шире внедряется во все отрасли техники в виде гарантированного ресурса, который предприятие-изготовитель гарантирует заказчику.

Гамма-процентный ресурс – ресурс, который имеет и превышает в среднем обусловленное число (γ) процентов изделий данного типа.

Обусловленный процент изделий (γ) является регламентированной вероятностью. Если, например, $\gamma = 90\%$, то соответствующий ресурс называется «девяностопроцентный ресурс», и т. д.

При изготовлении машин нельзя собрать даже две одинаковые машины, они будут отличаться по фактическому ресурсу и по другим показателям. Анализируя условия изготовления и используя статистические данные по эксплуатации машин, необходимо устанавливать число γ , в которое должно укладываться предприятие, изготавливающее соответствующие машины.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации или до списания.

Различают срок службы до среднего ремонта, капитального ремонта, между капитальными ремонтами, средний срок

службы, срок службы до списания и др. Ресурс работы является частью срока службы и выражает чистое время работы машины.

Срок гарантии – период, в течение которого изготовитель гарантирует и обеспечивает выполнение установленных требований к изделию при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, в том числе правил хранения и транспортировки.

Срок гарантии устанавливается в технической документации при договорах между изготовителем и заказчиком.

4.3. Показатели ремонтпригодности и сохраняемости

Показатели ремонтпригодности и сохраняемости представлены на рис. 4.3.

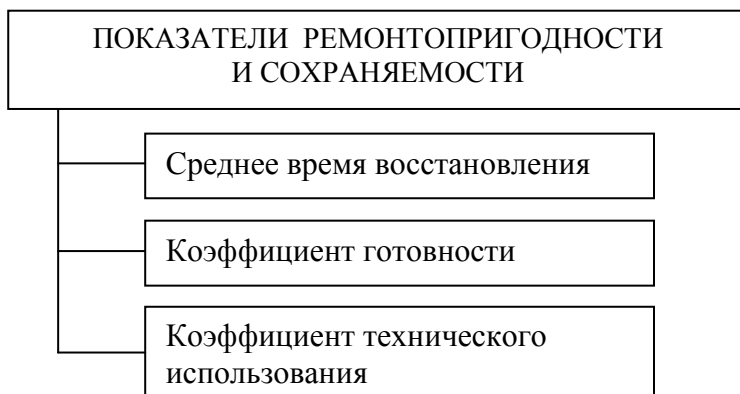


Рис. 4.3. Показатели ремонтпригодности и сохраняемости

Среднее время восстановления – это среднее время вынужденного нерегламентированного простоя, вызванного отысканием и устранением одного отказа.

Коэффициент готовности – выражает вероятность того, что изделие будет работоспособным в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планово-

го технического обслуживания.

Коэффициент технического использования – это отношение наработки изделия в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме этой наработки и времени всех простоев, вызванных техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период эксплуатации

$$K_{\text{ти}} = \frac{\text{наработка}}{(\text{наработка} + \text{время ремонта})}.$$

Контрольные вопросы

1. Назовите показатели безотказности.
2. Назовите показатели долговечности.
3. Является ли ресурс работы частью срока службы машины?

Ответ обоснуйте, приведите пример.

4. Влияет ли назначенный ресурс на безопасность изделия?

Ответ обоснуйте.

5. Что означает показатель «70-процентный ресурс»?

6. Определите коэффициент технического использования станка, если известно, что наработка составляет 1000 часов за год, а время технического обслуживания – 100 часов.

5. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ

Отказы, являющиеся неотъемлемым свойством изделия, могут быть классифицированы по ряду признаков [2–4]. Рассмотрим некоторые из них (рис. 5.1).

По значимости отказы бывают критическими, существенными и несущественными.

Критический отказ – это отказ изделия, при котором появляется угроза человеку или окружающей среде.

Существенный отказ характеризуется тем, что значительное снижение эксплуатационных характеристик или полная непригодность изделия не связаны с опасностью для человека.

Несущественный отказ вызывает только неудовольствие, последствия его незначительны.

По характеру возникновения различают внезапные, постепенные и систематические отказы.

Внезапный отказ – это отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Внезапные отказы возникают в результате сочетания неблагоприятных факторов и случайных внешних воздействий, превышающих возможности изделия. Основным признаком внезапного отказа является независимость вероятности его возникновения в течение заданного периода времени от длительности предыдущей работы изделия.

Постепенный отказ – отказ, связанный с постепенным изменением значения одного или нескольких заданных параметров объекта. Постепенные (их называют износными) отказы возникают в результате протекания процесса старения, ухудшающего начальные параметры изделия. При этом вероятность возникновения отказа тем выше, чем дольше эксплуатируется изделие. К этому виду относят большинство отказов машины. Они связаны с процессами изнашивания, коррозии, усталости и ползучести материалов.



Рис. 5.1. Классификация отказов

Систематический отказ – многократно повторяющийся и однородный по определенным признакам отказ, обусловленный дефектами конструкции объекта, нарушением процесса его изготовления, низким качеством используемых материалов и т. д. Причина возникновения систематического отказа может быть установлена и устранена.

По характеру обнаруживаемости отказы делят на явные и скрытые.

Явный отказ – это отказ, появление которого сопровождается признаками, непосредственно воспринимаемыми органами чувств наблюдателя или средствами контроля, без проведения дополнительных операций по контролю работоспособности объекта.

Скрытый отказ – отказ, обнаружение которого невозможно без проведения специальных операций по контролю работоспособности объекта.

По причине возникновения различают отказы конструкционные, технологические и эксплуатационные.

Конструкционный отказ – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленных параметров при конструировании изделия.

Технологический отказ вызывается несовершенством или нарушением технологии.

Эксплуатационный отказ происходит из-за неправильной эксплуатации изделия.

По характеру работы после возникновения отказа различают отказы функционирования и параметрические отказы.

Отказ функционирования – это отказ, при наступлении которого изделие перестает выполнять свои функции. Дальнейшая эксплуатация возможна только после ремонта.

Параметрический отказ – это отказ, характеризующийся отклонением значения хотя бы одного рабочего параметра машины за пределы допуска. Продолжение эксплуатации машины,

имеющей такой отказ, может привести к выпуску некачественной продукции или к снижению эффективности работы машины. Более того, в сложных машинах и системах параметрические отказы элементов могут привести к отказу функционирования.

По возможности устранения причин отказа различают неустраняемые отказы и устраняемые.

Неустраняемый отказ – это отказ, причины которого неизвестны или не могут быть устранены для изделия данного вида.

Устраняемый отказ – это отказ, причины возникновения которого известны и могут быть полностью устранены, что исключит их возникновение при дальнейшем существовании объектов данного вида.

По характеру устранения различают устойчивые отказы, самоустраняющиеся отказы, сбой и перемежающиеся отказы.

Устойчивый отказ – это отказ, для устранения которого необходимо проводить специальную работу.

Самоустраняющийся отказ – отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности объекта.

Сбой – отказ, не нарушающий работоспособности объекта, приводит лишь к кратковременной потере или искажению полезной информации в системе.

Перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ объекта одного и того же характера.

По времени возникновения отказы делят на *приработочные*, возникающие в первый период эксплуатации и связанные с выявлением дефектных элементов, не отбракованных контролем, *при нормальной эксплуатации* и *износосвые*.

Контрольные вопросы

1. Что такое критический отказ?
2. Что является основным признаком внезапного отказа?

3. Может ли быть устранена причина возникновения систематического отказа?

4. К чему может привести эксплуатация машины, имеющей параметрический отказ?

5. Как называется отказ, для устранения которого необходимо проводить специальную работу?

6. К какой категории относится отказ, происходящий из-за неправильной эксплуатации изделия?

7. Что такое сбой? Приведите примеры.

8. Что такое параметрический отказ? Приведите примеры.

6. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РИСКА

6.1. Система понятий: риск, надежность и безопасность

В последнее время специалисты из разных областей науки в своих сообщениях и докладах часто используют понятие «риск». Оно настолько присуще как безопасности, так и надежности, что термины «надежность», «опасность» и «риск» часто смешивают.

Наиболее общим определением признается: *риск* – это количественная оценка опасности. Его можно выразить отношением числа тех или иных неблагоприятных последствий к их возможному числу за определенный период.

В зависимости от стоящих перед исследователями задач сформулировано множество различных определений понятия «риск», но все они основаны на использовании вероятностных категорий. Например, в некоторых работах, величина риска определяется вероятностью наступления нежелательного события, которую с достаточной степенью точности можно оценить из статистических данных. Так, величина фатального несчастного случая, связанная с дорожно-транспортным происшествием 10^{-4} , означает, что в течение года в авткатастрофах должен погибнуть каждый десятитысячный человек. В табл. 6.1 приведены некоторые значения риска летального исхода.

Для различных групп технических средств используют такое понятие, как *надежность* – свойство объекта сохранять способность выполнять заданные функции. Оно включает такие составляющие, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, и сохраняемость свойств объекта. Имея многочисленные данные по отказам стандартных элементов технологического оборудования, можно представить надежность как величину, обратную риску.

Свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды, называют *безопасностью*. Следова-

тельно, надежность наряду с безопасностью можно рассматривать как показатели качества объекта (в том числе оборудование).

Существует столько же степеней безопасности, сколько и степеней риска. Полная безопасность относительно какого-либо риска может быть достигнута только путем устранения его источника. (Комфортный полет в самолете не означает, что достигнута полная безопасность, или поездка в комфортабельном автомобиле и т. п.).

Таблица 6.1

Значения риска летального исхода

Причина	Риск R , 1/год
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$
Падение	$9 \cdot 10^{-5}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$
Утомление	$3 \cdot 10^{-5}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Ураган	$4 \cdot 10^{-7}$

У риска нет единицы измерения, и его значение колеблется от нуля до единицы ($1 > R > 0$).

Современная наука отвергла концепцию абсолютной безопасности и пришла к концепции приемлемого риска, смысл ее в стремлении к такой безопасности, которую приемлет общество в данный период времени. Максимально приемлемым уровнем индивидуального риска обычно считается 10^{-6} в год, пренебрежимо малым – индивидуальный риск поражающих воздействий 10^{-8} в год; 10^{-5} – максимально допустимое значение для всякого риска.

Неприемлемый риск – вероятность реализации воздействия более 10^{-3} , *приемлемый* – менее 10^{-6} [6].

Уровень риска, равный 10^{-6} , специалисты принимают за тот, при котором человек не проявляет чрезмерной озабоченности (например, не боится погибнуть от урагана) и к которому следует стремиться при проектировании и работе предприятий всех отраслей материального производства. Это значение и есть *максимально приемлемый уровень индивидуального риска*, т. е. условная граница между опасностью и безопасностью (рис. 6.1).

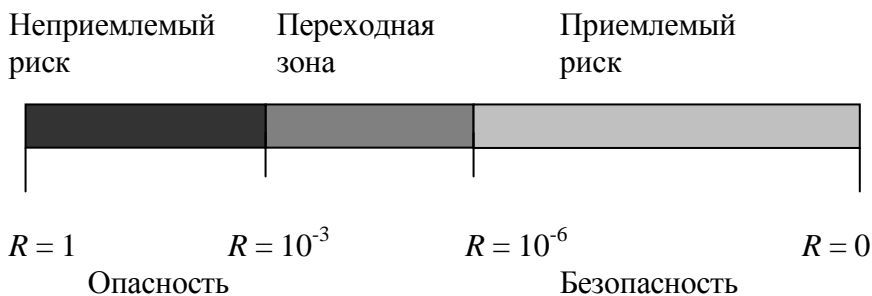


Рис. 6.1. Условная граница между опасностью и безопасностью

Мотивированный (обоснованный) риск – когда в случае производственных аварий, пожаров, в целях спасения людей, пострадавших от аварий и пожаров, человеку приходится идти на риск.

Обоснованность такого риска определяется необходимостью оказания помощи пострадавшим людям, желанием спасти от разрушения дорогостоящее оборудование или сооружения предприятий.

Нежелание работника на производстве руководствоваться действующими требованиями безопасности технологических процессов, неиспользование средств индивидуальной защиты и т. п. может сформировать *немотивированный (необоснованный) риск*, как правило, приводящий к травмам и формирующий предпосылки аварий на производстве.

Применительно к производственной деятельности целесообразно использовать понятие «риск производственного травматизма», как количественного показателя опасностей, определяющего вероятность повреждения здоровья или гибели работающего вследствие воздействия на него опасного производственного фактора при выполнении своих трудовых обязанностей.

Для количественного расчета риска необходимы обоснованные данные, и потребность в таких данных в настоящее время признана во всем мире. Нужна тщательно аргументированная разработка базы и банков данных и их реализация в условиях предприятия. В основе управления риском лежит методика сравнения затрат и получаемых выгод от снижения риска.

В нашей стране в настоящее время нет жестких требований по установлению уровней риска. Сравнение риска и выгод сопряжено со многими трудностями, т. к. отсутствует общая мера этих показателей.

Страховые компании оценивают вероятность риска в значительной степени на основе опыта эксплуатации технологического оборудования, поскольку для современных технологий необходимая статистика несчастных случаев отсутствует и может быть заменена лишь расчетно-теоретическими исследованиями. Умножая меру финансовых последствий несчастных случаев на частоту возникновения подобных событий, страховые компании могут оценить размер ожидаемых ежегодных выплат, а также размер страховой прибыли.

Таким образом, понятие «риск» особенно важно как количественный показатель опасностей, позволяет применять наиболее эффективные средства по обеспечению безопасного производства, что, в свою очередь, способствует сокращению числа несчастных случаев.

6.2. Критерии приемлемого риска

Под *приемлемым* риском понимается риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений. Например, риск при ведении строительных работ является приемлемым, если его величина настолько незначительная, что ради выгоды, получаемой от строительства объекта, общество готово пойти на этот риск.

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

Необходимость формирования концепции приемлемого риска обусловлена невозможностью создания абсолютно безопасной деятельности. Приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения.

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

Зависимость риска от расходов на защиту имеет оптимум, как показано на рис. 6.2.

При принятии решений следует иметь в виду, что для ряда источников невозможно достичь уровня «нулевой» опасности.

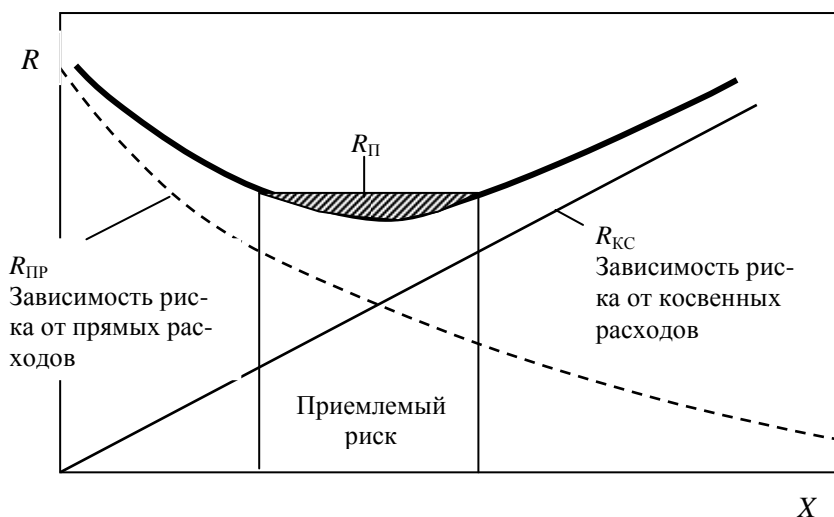


Рис. 6.2. Схема определения приемлемого риска

Кривая $R_{ПР}$ соответствует случаю, когда достичь абсолютной безопасности принципиально невозможно. Такое поведение эффективности затрат на защиту характерно, например для радиационно опасных производств, транспорта, промышленных предприятий.

Если придерживаться принципа абсолютной безопасности, то необходимо применить все меры защиты, которые практически можно осуществить. Однако при этом помимо прямого риска $R_{ПР}$, создаваемого данной технологией, и на уменьшение которого направлены усилия (меры безопасности), существует еще и косвенный риск $R_{КС}$. Он обусловлен, например строительными работами, изготовлением оборудования и материалов для защитных сооружений, их эксплуатацией и т. д. С ростом расходов на безопасность риск $R_{ПР}$ уменьшается, а риск $R_{КС}$ растет.

Уменьшается также эффективность затрат на защиту. Начиная с некоторого уровня этих расходов, при дальнейшем росте X будет происходить возрастание полного риска

$$R_{\Pi} = R_{\Pi P} + R_{\text{КС}}.$$

Поэтому при наличии источников, которые не позволяют достичь уровня нулевой опасности, следует принимать вариант решения с оптимизацией риска.

С целью принятия окончательного решения результаты оценки риска рассматривают с учетом инженерных, экономических и политических аспектов.

В последнее время в большинстве стран критерии приемлемого риска определяются на этапе планирования риск-анализа спецификой производственной деятельности. Понятие «риск» применяется для измерения опасности и обычно относится к индивидууму или группе населения. Для риска используются единицы измерения, выраженные через другие фундаментальные единицы, либо собственные меры риска.

Одной из мер опасности является *коллективный риск* – ожидаемое количество смертельно травмированных в результате возможных аварий за определенный период времени.

Под *социальным риском* принято понимать зависимость частоты событий F , при которых пострадало число людей, большее определенного N , от этого конкретного числа людей. Очевидно, что социальный риск определяется функцией, которая называется F/N – кривая. Социальный риск характеризует масштаб возможных катастроф. Под N можно понимать и число травмированных, смертельно травмированных в зависимости от задач анализа. Обычно при разговоре о приемлемом уровне риска речь идет о смертельном травмировании. Соответственно критерием приемлемой степени риска здесь будет уже не число, а кривая или две кривые. Так, законодательством Нидерландов в логарифмических координатах определены F/N – кривые прием-

лемого и неприемлемого социального риска травматизма со смертельным исходом. Область между этими кривыми определяет допустимую степень риска, которую все же желательно уменьшить.

Другой мерой риска, характеризующей опасный объект (и территорию), будет *потенциальный (территориальный) риск* – пространственное распределение частоты реализации негативного воздействия определенного уровня. Как правило, потенциальный риск оказывается промежуточной мерой опасности, используемой для оценки социального и индивидуального риска. Распределение потенциального риска и плотности населения в исследуемом районе позволяет получить количественную оценку социального риска для населения. Для этого нужно установить число пострадавших от каждого источника опасности и затем построить F/N – кривую.

Одна из основных мер опасности – индивидуальный риск. *Индивидуальный риск* – это частота поражения отдельного индивидуума в результате исследуемых факторов опасности. Определяется риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и обученностью человека действиям в опасной ситуации, его защищенностью. При анализе риска не рассчитывается индивидуальный риск каждого человека, а оценивается индивидуальный риск для групп людей, характеризующихся более-менее одинаковым временем пребывания в различных опасных условиях.

Индивидуальный риск R можно определить как ожидаемое значение ущерба n , причиненного за интервал времени Δt и отнесенного к группе людей численностью N человек

$$R = \frac{n}{\Delta t \cdot N} . \quad (6.1)$$

Уровень приемлемого индивидуального риска нормативно закреплен лишь в некоторых странах (например, в Голландии). В России, например, согласно ГОСТ Р 12.3.047–98 «Пожарная

безопасность технологических процессов», произведенные процессы должны разрабатываться так, чтобы вероятность воздействия опасных факторов взрыва (пожара) в течение года на людей не превышала 10^{-6} на каждого человека.

На сегодняшний день актуальным является понятие «профессиональный риск». Профессиональный риск следует определять для каждого работника предприятия, с учетом опасных и вредных производственных факторов его рабочего места, квалификации, опыта и стажа работы и т. д. [7].

Понятие «профессиональный риск» впервые было введено в ст. 209 Трудового кодекса РФ (ТК РФ) только в 18.07.2011 г. (Федеральный закон № 238-ФЗ), а управление профессиональным риском было введено в ст. 212 только 28.12.2013 (Федеральный закон № 421-ФЗ).

Профессиональный риск – вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных Трудовым кодексом, другими федеральными законами.

Управление профессиональными рисками – комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков.

Часто приходится слышать об экологическом риске. Однако в отечественной литературе авторы избегают определения этого термина.

В связи со сложностью расчетов показателей риска, недостатком исходных данных на практике часто используются методы анализа и критерии приемлемого риска, основанные на результатах экспертных оценок специалистов. В этом случае рассматриваемый объект обычно ранжируется по степени риска на четыре (или больше) группы с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска считается, как правило, неприемлемым, а незначительный – вообще не рассматривается, как не заслужи-

вающий внимания. Пример нормативного отражения в отечественной практике данного подхода – ГОСТ Р 27.10–93 «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения».

Таким образом, основным требованием к выбору критерия приемлемого риска при проведении анализа риска является его обоснованность и определенность. Правильный выбор приемлемого риска и его меры позволят сделать результаты анализа риска понятными.

6.3. Анализ риска

Анализ риска целесообразно рассматривать как часть системного подхода к принятию решений и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде, называемого *управление риском*.

Можно выделить три составляющие процесса управления риском: информацию о производственной безопасности, анализ риска и контроль производственной безопасности. Анализ риска является центральным звеном. Основная задача анализа риска заключается в том, чтобы обеспечить рациональное основание для принятия решений в отношении риска.

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

Понятие «риск» всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия опасного события, а анализ риска, в свою очередь, заключается в выявлении (идентификации) опасностей и оценке риска [8].

Под опасностью понимается источник потенциального вреда или ситуация с возможностью нанесения вреда, а под *идентификацией опасности* – процесс выявления и признания, что опасность существует, и определение ее характеристик.

Применение понятия риск, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск фактически есть мера опасности. Часто используют понятие степень риска, по сути, не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет об измеряемой величине. Наибольшие сложности представляет термин «оценка риска». В нашем случае под оценкой производственного риска следует понимать процесс, обычно используемый для определения степени риска анализируемой производственной опасности для здоровья человека.

Оценка риска включает в себя анализ частоты, анализ последствий и их сочетание.

Анализ риска рекомендуется проводить по схеме:

1. Планирование и организация работ.
2. Идентификация опасностей.
3. Оценка риска.
4. Управление риском (разработка рекомендаций по уменьшению риска).

Анализ риска целесообразно начинать с планирования и организации работ. На первом этапе необходимо: описать причины и проблемы, которые вызвали необходимость проведения анализа риска; определить анализируемую систему и дать ее описание; подобрать необходимую группу исполнителей для проведения анализа; установить источники информации о безопасности системы; указать ограничения исходных данных, финансовых ресурсов и другие возможности, определяющие глубину, полноту и детальность анализа риска; определить цели и выбрать методы анализа риска и определить критерии риска.

Следующий этап анализа риска – идентификация опасностей. Основная задача – выявление (на основе информации о безопасности данного 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.

Существует целый ряд формальных методов выявления опасностей. Предварительная оценка опасностей проводится с целью выбора дальнейшего направления деятельности: решение прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей; решение о проведении более детального анализа риска; разработка рекомендаций по уменьшению опасностей.

В принципе процесс анализа риска может заканчиваться уже на этапе идентификации опасностей. При необходимости после идентификации опасностей можно перейти к этапу оценки риска, на котором идентифицированные опасности оцениваются на основе критериев риска. При этом и критерии риска, и результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно.

Исходя из определения, оценка риска включает в себя анализ частоты и анализ последствий. Для анализа частоты следует использовать: статистические данные, соответствующие типу системы, объекта или вида деятельности; логические методы анализа «Дерева событий» или «Дерева отказов»; экспертную оценку с учетом мнения специалистов в данной области.

Анализ последствий может быть основан на оценке дней нетрудоспособности или выплат пострадавшим в результате несчастных случаев на производстве.

Контрольные вопросы

1. Что такое риск, надежность и безопасность?
2. Что представляет собой условная граница между опасностью и безопасностью?
3. Что такое мотивированный и немотивированный риск?
2. Что такое приемлемый риск?
3. Дайте определение понятия «профессиональный риск».
4. В чем заключается суть риск-анализа?
5. Каковы этапы проведения анализа риска?

7. МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И РИСКА

Чтобы эффективно управлять риском, его необходимо проанализировать и оценить. Анализ риска служит полезным средством, когда имеется намерение выявить существующие опасности, определить уровни рисков выявленных нежелательных событий (по частоте и последствиям) и реализовать меры по уменьшению риска в случае превышения его приемлемого уровня.

Методы анализа надежности и риска могут быть не только количественными, при которых основные результаты получаются путем расчета показателей надежности и риска, но и качественными, при которых результаты представлены в виде текстового описания, таблиц, диаграмм путем применения качественных методов анализа отказов, опасностей и экспертных оценок [3, 6, 8].

При выборе методов анализа надежности и риска необходимо учитывать этап разработки системы, цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемой системы и характер опасности, наличие ресурсов для проведения анализа необходимой информации, опыт и квалификацию исполнителей и другие факторы.

Метод анализа надежности и риска должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть научно обоснованным и соответствовать рассматриваемой системе;
- давать результаты в виде, позволяющем лучше понимать характер отказов и риска и намечать пути его снижения;
- быть повторяемым и проверяемым.

Ниже представлены основные методы, используемые при проведении анализа надежности и риска.

7.1. Методы «Проверочного листа» и «Что будет, если...?»

Методы «Проверочного листа» и «Что будет, если...?» или их комбинации относятся к группе качественных методов оценки

надежности и риска, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта действующим требованиям промышленной безопасности.

Результат «Проверочного листа» – перечень вопросов и ответов о соответствии объекта требованиям надежности и безопасности и указания по обеспечению надежности и безопасности. Метод «Проверочного листа» отличается от метода «Что будет, если...?» более обширным представлением исходной информации и результатов о последствиях отказов, нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), недороги (результаты могут быть получены одним человеком в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании надежности и безопасности хорошо изученных объектов с известной технологией или объектов с незначительным риском крупной аварии.

7.2. Метод «Анализ вида и последствий отказов» (АВПО)

Метод «Анализ вида и последствий отказов» (АВПО) применяется для качественной оценки надежности и риска технических систем. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа) и как этот отказ воздействует на техническую систему (последствия отказа). «Анализ вида и последствий отказа» можно расширить до «Количественного анализа вида, последствий и критичности отказа» (АВПКО).

В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности – вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Понятие критичности близко к понятию риска и может быть использовано при более деталь-

ном количественном анализе риска аварии. Определение параметров критичности необходимо для выработки указаний и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, вида и причин возможных отказов, частоты, последствий, критичности, средств обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т. п.) и рекомендаций по уменьшению опасности.

В табл. 7.1 приведены рекомендуемые показатели (индексы) уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа (события).

При анализе необходимо выделять четыре группы, которым может быть нанесен ущерб от аварии: *персонал, население, окружающая среда, материальные объекты* (оборудование и сооружения промышленного предприятия и близлежащих населенных пунктов).

В табл.7.1 приведены следующие критерии: критерии отказов по тяжести последствий:

1) *катастрофический отказ* – приводит к смерти людей, наносит существенный ущерб объекту и невозможный ущерб окружающей среде;

2) *критический (некритический) отказ* – угрожает (не угрожает) жизни людей, потере объекта, окружающей среде;

3) *отказ с пренебрежимо малыми последствиями* – не относящимися по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

Категории отказов (степень риска отказа):

А – обязателен детальный анализ риска, требуются особые меры безопасности для снижения риска;

В – желателен детальный анализ риска, требуются меры безопасности;

С – рекомендуется проведение анализа риска и принятие мер безопасности;

Д – анализ и принятие мер безопасности не требуются.

Таблица 7.1

Матрица «Вероятность-тяжесть последствий»

Ожидаемая частота возникновения (1 / год)		Тяжесть последствий			
		Катастрофический отказ	Критический отказ	Некритический отказ	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями
Частый отказ	> 1	А	А	А	С
Вероятный отказ	10^{-2}	А	А	В	С
Возможный отказ	$10^{-2} \div 10^{-4}$	А	В	В	С
Редкий отказ	$10^{-4} \div 10^{-6}$	А	В	С	Д
Практически невероятный отказ	$< 10^{-6}$	В	С	С	Д

Критерии, приведенные в табл. 7.1, могут применяться для ранжирования опасности и определения степени риска всего промышленного объекта. В этом случае ранг А соответствует наиболее высокой (неприемлемой) степени риска объекта, требующей незамедлительных мер по обеспечению безопасности. Соответственно показатели В, С отвечают промежуточным степеням риска, а ранг Д – наиболее безопасным условиям. Проблема заключается в учете вкладов рисков неполадок (отказов) составных частей промышленного объекта в общий риск аварии.

Методы АВПО, АВПКО применяются для анализа проектов сложных технических систем или при модификации опасных производств.

7.3. Метод «Анализ опасности и работоспособности» (АОР)

В методе «Анализ опасности и работоспособности» (АОР) исследуется влияние отклонений технологических параметров (температуры, давления и др.) от регламентных режимов с точки зрения возникновения отказов и опасности. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО.

В процессе анализа для каждой производственной линии и блока определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения используются ключевые слова: «НЕТ», «БОЛЬШЕ», «МЕНЬШЕ», «ТАК ЖЕ, КАК», «ДРУГОЙ», «ИНАЧЕ, ЧЕМ», «ОБРАТНЫЙ» и т. п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой производства.

Примерное содержание ключевых слов следующее:

НЕТ – отсутствие прямой подачи вещества, когда она должна быть;

БОЛЬШЕ (МЕНЬШЕ) – увеличение (уменьшение) значений режимных переменных, по сравнению с заданными (температуры, давления, скорости потока);

ТАК ЖЕ, КАК – появление дополнительных компонентов (воздух, вода, примеси);

ДРУГОЙ – состояние, отличающееся от обычной работы установки (пуск, остановка, повышение производительности и т. д.);

ИНАЧЕ, ЧЕМ – полное замещение процесса, непредвиденное событие, разрушение, разгерметизация оборудования;

ОБРАТНЫЙ – логическая противоположность замыслу, появление обратного потока вещества.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО (табл. 7.1).

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

7.4. Логико-графические методы анализа «Дерева отказов и событий»

Практика показывает, что возникновение и развитие крупных аварий, как правило, характеризуется комбинацией случайных локальных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях аварии (отказы оборудования, человеческие ошибки, внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, рассеяние веществ, воспламенение, взрыв, интоксикация и т. д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «Дерева отказов и событий».

При анализе «Дерева отказов» выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий).

Основной принцип построения «Дерева отказов» состоит

в последовательной постановке вопроса: по каким причинам может произойти нежелательное событие (авария, несчастный случай, отказ изделия), т. е. в осуществлении анализа сверху вниз.

Преимущества и недостатки метода анализа «Дерева отказов». «Дерево отказов» представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Граф дерева отказов

Преимущества метода «Дерева отказов» заключаются в следующем:

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

– дает возможность выполнять качественный или количественный анализ надежности системы;

- метод позволяет специалистам поочередно сосредотачиваться на отдельных конкретных отказах системы;
- обеспечивает глубокое представление о поведении системы и проникновение в процесс ее работы;
- являются средством общения специалистов, поскольку они представлены в четкой наглядной форме;
- помогает дедуктивно выявлять отказы;
- дает конструкторам, пользователям и руководителя возможность наглядного обоснования конструктивных изменений или установления степени соответствия конструкции системы заданным требованиям и анализа компромиссных решений;
- облегчает анализ надежности сложных технических систем.

Главное преимущество метода «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 или аварии.

Недостатки метода «Дерева отказов»:

- реализация метода требует значительных затрат средств и времени;
- «Дерево отказов» представляет собой схему булевой логики, на которой показывают только два состояния: рабочее и отказавшее состояние;
- 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», содержащие 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 понимания системы и конкретного рассмотрения каждый раз только одного определенного отказа;

– «Дерево отказов» описывает систему в определенный момент времени (обычно в установившемся режиме), и последовательности событий могут быть показаны с большим трудом, иногда это оказывается невозможным. Это справедливо для систем, имеющих сложные контуры регулирования.

Основные блоки дерева отказов. Чтобы отыскать и наглядно представить причинную взаимосвязь с помощью «Дерева отказов» используются два типа элементарных блоков: логические символы и символы событий.

Логические символы связывают события в соответствии с их причинными взаимосвязями. Обозначения их приведены в табл. 7.2. Символы событий даны в табл. 7.3.

Использование блоков дерева. Рассмотрим принцип определения вероятностей вершинных отдельных ветвей событий, использующих наиболее распространенные логические символы.

На рис. 7.2 приведена иллюстрация использования при работе логического символа «И».

При расчетах вероятности события, соединенные условием «И», перемножаются.

Так, вероятность события А в зависимости от исходных событий 1,2,..., n, вероятности которых P_1, P_2, \dots, P_n (рис. 7.2) будут определяться по формуле

$$P_A = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i . \quad (7.1)$$

Вероятность события А, в зависимости от исходных событий, соединенных символом «ИЛИ» (рис. 7.3), определяется по формуле







$$P_A = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (7.2)$$

В частности, при $n = 2$ выражение (7.2) преобразуется к виду


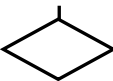
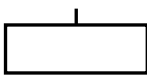
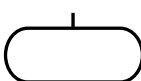

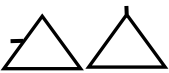
$$P_A = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2.$$

Таблица 7.2

Логические символы

Символ логического знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь
	«И»	Выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно
	«ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий
	«ЗАПРЕТ»	Наличие входа вызывает появление выхода тогда, когда происходит условное событие
	Приоритетное «И»	Выходное событие имеет место, если все входные события происходят в нужном порядке слева направо
	Исключающее «ИЛИ»	Выходное событие происходит, если случается одно (но не оба) из входных событий
	« m из n »	Выходное событие происходит, если случается « m » из « n » входных событий

Символы событий

Символ события	Содержание события
	Исходное событие, обеспеченное достаточными данными
	Событие, недостаточно детально разработанное
	Событие, вводимое логическим элементом
	Условное событие, используемое с логическим знаком «запрет»
	Событие, которое может случаться или не случаться
	Символ перехода

Выходное событие *логического символа «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.

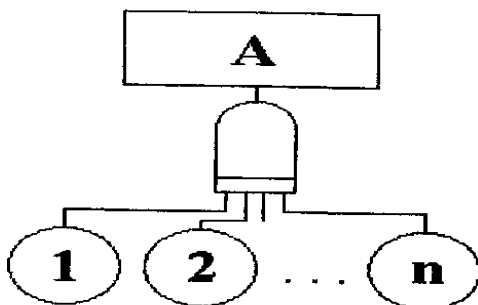


Рис. 7.2. Применение логического символа «И»

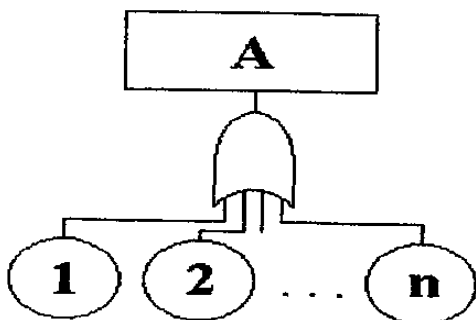


Рис. 7.3. Применение логического символа «ИЛИ»

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

Правило применения логического символа «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?».

Выходное событие *логического символа «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 символа «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?».

Порядок применения логических символов «И» и «ИЛИ». Для любого события, подлежащего дальнейшему анализу, вначале рассматриваются все возможные события, являющиеся входами операций «ИЛИ», затем входы операций «И». Это справедливо как для головного события, так и для любого события, анализ которого целесообразно продолжить.

Пример этих двух логических символов показан на рис. 7.4. 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» «Курящий рабочий».

Последовательность построения «Дерева отказов». Построение «Дерева отказов» и анализ исследуемого объекта с его использованием производят следующим образом.

1. Определяют аварийное (предельно опасное, конечное) событие, которое образует вершину «дерева». Данное событие четко формулируют, оговаривают условия его появления, дают

признаки его точного распознавания. Например, для объектов химической технологии к таким событиям относятся: разрыв аппарата, пожар, выход реакции из-под контроля и др. Определяют возможные первичные и вторичные отказы, которые могут вызвать головное событие, рассматривают их комбинации.

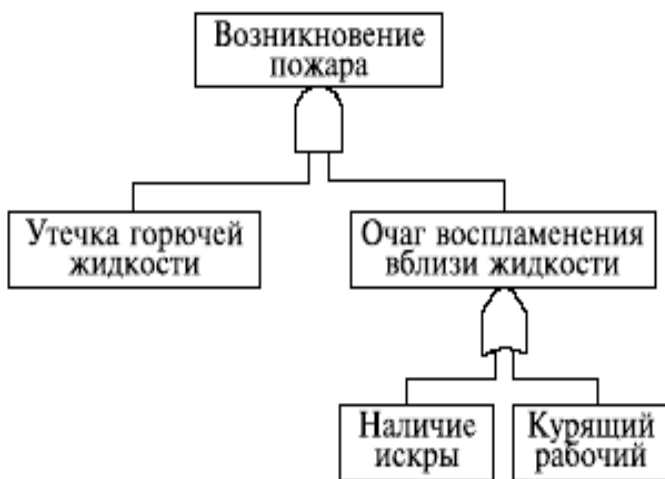


Рис. 7.4. Пример использования логических символов «И» и «ИЛИ»

2. Используя стандартные символы событий и логические символы (табл. 7.2, 7.3), «дерево» строят в соответствии со следующими правилами:

- а) конечное (аварийное) событие помещают вверху;
- 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 над логическим знаком помещают в прямоугольнике, а само событие описывают в этом прямоугольнике;

д) первичные события (исходные причины) располагают снизу «дерева».

3. Квалифицированные эксперты проверяют правильность построения «дерева». Это позволяет исключить субъективные ошибки разработчика, повысить точность и полноту описания объекта и его действия.

4. Определяют минимальные аварийные сочетания и минимальную траекторию 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, они называются аварийными сочетаниями (сечениями) или прерывающими совокупностями событий. Минимальным аварийным сочетанием (МАС) называют наименьший набор исходных событий, при которых возникает событие в вершине. Полная совокупность МАС «дерева» представляет собой все варианты сочетаний событий, при которых может возникнуть авария (отказ или иное нежелательное событие). Минимальная траектория – наименьшая группа событий, при появлении которых происходит авария.

5. Качественно и количественно исследуют «дерево» отказов (аварий) с помощью выделенных минимальных аварийных сочетаний и траекторий. Качественный анализ заключается в сопоставлении различных маршрутов и начальных событий к конечному и определении критических (наиболее опасных) путей, приводящих к аварии. При количественном исследовании рассчитывают вероятность появления аварии в течение задаваемого промежутка времени по всем возможным маршрутам.

6. Разрабатывают рекомендации по введению изменений в объекте, системах контроля и управления для улучшения показателей безаварийности.

Анализ «*Дерева событий*» – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Используется для анализа развития аварий-

ной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией аппарата с пожаровзрывоопасным веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества).

Методы «Дерева отказов и событий» трудоемки и применяются, как правило, для анализа проектов или модернизации сложных технических систем и производств.

Методы количественного анализа надежности и риска.

Методы количественного анализа надежности и риска характеризуются расчетом показателей надежности и риска и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей на территории и вблизи объекта, плотности населения и других факторов.

Количественный анализ надежности и риска наиболее эффективен:

- на стадии проектирования и размещения опасных установок и объектов;
- при оценке безопасности объектов, имеющих однотипное оборудование (например, магистральные трубопроводы);
- при необходимости получения комплексной оценки воздействия аварий на людей, материальные объекты и окружающую природную среду;
- при разработке приоритетных мер по подготовке к чрезвычайным ситуациям в регионе, насыщенном опасными промышленными объектами.

Недостатками количественного анализа надежности и риска являются невысокая точность результатов, вследствие чего использование количественных показателей (в частности, веро-

ятности возникновения аварии) в качестве критериев безопасности для сложных производств, как правило, не оправдано.

Рекомендации по выбору методов анализа надежности и риска. Рекомендации по выбору методов анализа надежности и риска для различных видов деятельности и этапов функционирования объекта представлены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

**Рекомендации по выбору методов анализа
надежности и риска**

Метод	Вид деятельности				
	Проектирование	Размещение	Ввод в эксплуатацию (вывод)	Эксплуатация	Реконструкция
«Что будет, если...?»	+	0	++	++	+
«Проверочного листа»	+	0	+	++	+
«Анализ опасности и работоспособности»	++	0	+	+	++
«Анализ видов и последствий отказов»	++	0	+	+	++
Анализ «Деревьев отказов и событий»	++	0	+	+	++
Количественный анализ надежности и риска	++	++	0	+	++

В табл. 7.4 приняты следующие обозначения:

0 – наименее подходящий метод анализа;

+ – рекомендуемый метод;

++ – наиболее подходящий метод.

Методы могут применяться изолированно или в дополнительные друг к другу, причем качественные методы могут включать количественные критерии надежности и риска (в основном по экспертным оценкам с использованием, например, матрицы «вероятность – тяжесть последствий» ранжирования опасности). Полный количественный анализ надежности и риска может включать все указанные выше методы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается суть метода «Проверочного листа» и метода «Что будет, если...?»?
2. Назовите рекомендуемые показатели уровня и критерии критичности по вероятности и тяжести последствий отказа.
3. На чем основан метод «Анализ опасности и работоспособности»?
4. Когда целесообразно использование логико-графического метода анализа «Дерева отказов»?
5. Назовите преимущества метода «Дерева отказов».
6. Как определяется вероятность события в зависимости от исходных событий, соединенных символом «И»?
7. Как определяется вероятность события в зависимости от исходных событий, соединенных символом «ИЛИ»?
8. Поясните применение логического символа «И». Приведите пример.
9. Поясните применение логического символа «ИЛИ». Приведите пример.
10. Что называется минимальным аварийным сочетанием?
11. В чем заключается суть логико-графического метода «Дерева событий»?
12. Когда наиболее эффективен количественный анализ надежности и риска?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Острейковский, В.А.* Теория надежности: уч. для вузов / В.А. Острейковский. – М. : Высш. школа, 2008. – 463 с.

2. *Шиммарев, В.Ю.* Надежность технических систем: уч. для вузов. – М. : Академия, 2010. – 303 с.

3. *Рыков, В.В.* Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пособие / В.В. Рыков. – М. : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2016. – 192 с.

4. *Малкин, В.С.* Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пособие для вузов / В.С. Малкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 432 с.

5. *Воскобоев, В.Ф.* Надежность технических систем и техногенный риск: уч. пособие для вузов / В.Ф. Воскобоев. – М. : Альянс, 2008. – 199 с.

6. *Тимофеева, С.С.* Оценка техногенных рисков: учебное пособие / С.С. Тимофеева. – М. : Форум, 2015. – 208 с.

7. *Ефремова, О.С.* Профессиональный риск. Оценка и определение: практическое пособие / О.С. Ефремова. – М. : Альфа-пресс, 2010. – 333 с.

8. *Алымов, В.Т.* Техногенный риск анализ и оценка: уч. пособие для вузов / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – М. : Академ-книга, 2007. – 367 с.

Учебное издание

*Ольга Олеговна Герасимова
Сергей Андреевич Карауш*

МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ И РИСКА

Учебное пособие

Редактор М.В. Пересторонина
Оригинал-макет подготовлен О.О. Герасимовой

Подписано в печать 20.04.2017.
Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,37. Тираж 100 экз. Зак. № 84.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.