Приднестровский государственный
университет им. Т.Г. Шевченко

Кафедра безопасности жизнедеятельности и основы медицинских знаний

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Надежность технических систем и техногенный риск

Направление подготовки дипломированного специалиста
656500 – Безопасность жизнедеятельности
Специальности:
330100 Безопасность жизнедеятельности в техносфере
330600 Защита в чрезвычайных ситуациях

Курс - 4, семестр - 7
Форма обучения – очная

Курс – 4, семестр - 7
Форма обучения – заочная

Тирасполь, 2012

УДК 355.58(075.8) + 502.55(075.8)
ББК Ц903я73 + Ж14я73
Н17

Учебно-методический комплекс. Учебно-методический комплекс дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для студентов по специальностям 330100 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», 330600 «Защита в чрезвычайных ситуациях» направления подготовки дипломированных специалистов 656500 «Безопасность жизнедеятельности» / Составители: доцент ФМ ф-та, кандидат п.н. Чуйко Л.В. ст. препод. каф. БЖД и ОМЗ ЕГФ-та Огнева Т.В – Тирасполь, 2012 г.

Учебно-методический комплекс дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для студентов по специальностям 330100 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», 330600 «Защита в чрезвычайных ситуациях» направления подготовки дипломированных специалистов 330600 «Безопасность жизнедеятельности» подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта направления подготовки дипломированных специалистов 280000 «Безопасность жизнедеятельности».

Учебно-методический комплекс включает: пояснительную записку; требования к организации учебного процесса; требования к учебно-методическому обеспечению; требования к результатам освоения программы; структуру и содержание программы; примерный учебный план программы; курс лекций, материал для выполнения практикума; список рекомендуемой литературы; контрольные вопросы; вопросы к тестовому контролю; приложения.

В примерном учебном плане содержится перечень учебных разделов с указанием объемов времени, отводимых на освоение дисциплины, включая объемы времени, отводимые на теоретическое и практическое обучение.

В учебно-методическом комплексе системно рассмотрены основные положения теории надежности технических систем и техногенного риска, элементы физики отказов, структурные схемы надежности технических систем; методология анализа надежности технических систем и оценки техногенного риска; методы повышения надежности и примеры использования теории надежности для оценки безопасности человеко-машинных систем.

УМК в полной мере соответствует требованиям высшей школы, стандартам Российской образовательной системы и может быть востребован не только студентами ПГУ, но и преподавателями безопасности жизнедеятельности и инженерно-техническими работниками, занимающиеся вопросами обеспечения безопасности производств, изучающими вопросы обеспечения надежности и безопасности технических систем.

Требования к условиям реализации УМК представлены требованиями к организации учебного процесса, учебно-методическому обеспечению. Состав учебно-методического комплекса направлен на обеспечение возможности самостоятельного изучения материала, проведения контроля знаний.

Составители:
Чуйко Л.В., доцент ФМ ф-та, кандидат п.н.
Огнева Т.В., ст. преп. кафедры «БЖД и ОМЗ»

Рецензенты:
Кочанжи М.И., гл. специалист УПО и КП Министерства Просвещения.
Дяговец Е.В. – ст. преподаватель кафедры «БЖД и ОМЗ»

Рекомендовано к публикации Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко. Протокол № 10 от 6 июня 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

№ п/п	Наименование	Стр.
1.	Пояснительная записка	4
2.	Требования к организации учебного процесса	5
3.	Требования к результатам освоения программы	6
4.	Структура и содержание программы	7
5.	Примерный учебный план программы	7
6.	Лекционный материал по темам	8
7.	Материал для выполнения лабораторных работ	73
8..	Учебно-методическое обеспечение дисциплины.	91
	Список рекомендуемой литературы: — основная	91
	— дополнительная	
	— интернет-ресурсы (электронные библиотеки, журналы, газеты)	
9.	Контрольные вопросы	92
10.	Вопросы к экзамену	94
11.	Приложение 1. Список принятых сокращений	96
12.	Приложение 2. Основные понятия, термины и определения	97-106

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебно-методический комплекс по курсу «Надежность технических систем и техногенный риск» разработан в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования, направление подготовки дипломированного специалиста 656500 – Безопасность жизнедеятельности, специальности: 330100 Безопасность жизнедеятельности в техносфере, 330600 Защита в чрезвычайных ситуациях, утвержденного приказом Министерства образования Российской Федерации от 02.03.2000 г. № 686.

Курс ««Надежность технических систем и техногенный риск» входит в число общеобразовательных дисциплин федерального компонента блока ОПД. На его освоение ГОС ВПО предусматривает 102 часов.

Значение надежности и умение оценивать степень риска в техносфере чрезвычайно важно. Аварии на производствах проводят к гибели людей, загрязнению окружающей среды, опасному для здоровья и жизни человека. Общество все в большей мере сталкивается с необходимостью обеспечения безопасности и защиты человека, техники и окружающей среды.

Теория надежности в любой отрасли промышленности опирается на математику и технические дисциплины. Абсолютно надежных конструкций и сооружений не бывает, поэтому выпускник должен уметь грамотно оценивать техногенный риск, заложенный в предлагаемый проект, представленный на техническую экспертизу, средства и мероприятия, предназначенные для минимизации ущерба в случае производственных аварий, оценивать методы их прогнозирования и предупреждения.

Преподавание дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» имеет целью обучить будущих специалистов основным положениям теории надежности технических систем и сооружений и научить оценивать надежность и техногенный риск строящихся и модернизирующихся технических систем и сооружений. Поскольку теория надежности опирается на математический аппарат теории вероятностей и математической статистики, то дисциплину «Надежность технических систем и техногенный риск» следует изучать после дисциплины «Высшая математика».

В примерном учебном плане содержится перечень учебных разделов и тем с указанием объемов времени, отводимых на освоение разделов и тем, включая объемы времени, отводимые на теоретическое и практическое обучение также материал лекционных и лабораторных занятий.

Требования к условиям реализации Программы представлены требованиями к организации учебного процесса, учебно-методическому обеспечению.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные группы создаются численностью до 30 человек.

Учет посещаемости занятий, успеваемости и пройденных тем ведется преподавателями в соответствующей учетной документации.

В структуре занятий предусмотрены следующие виды учебной деятельности:

- изучение теоретического материала на лекционных занятиях;
- отработка практических навыков осуществляется на лабораторных аудиторных занятиях**.**

Теоретическое и практическое обучение проводятся в оборудованных кабинетах с использованием учебно-методических и учебно-наглядных пособий.

Рекомендуются следующие формы контроля текущей успеваемости студентов:

- периодическая проверка конспектов лекций;
- контрольный опрос студентов на лекциях и практических занятиях;
- проверка полноты и качества выполнения заданий на самостоятельное изучение отдельных вопросов и тем по рекомендованной литературе;
- проведение двух контрольных работ, согласно требованиям ВУЗ.
- проведение итогового экзамена в письменном виде с последующим собеседованием по отдельным вопросам программы.

Изучение дисциплины организовано следующим образом:

- чтение лекций – 2 часа в неделю;
- лабораторные занятия – 2 час в неделю;
- изучение дисциплины заканчивается сдачей экзамена.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина изучается с целью формирования специалиста, способного прогнозировать, оценивать, устранять причины и смягчать последствия нештатного взаимодействия компонентов в системах типа человек-машина-среда, а также, способного создавать современную технику.

Задачи дисциплины - формирование умений и навыков по следующим направлениям деятельности: разработка физических и математических моделей системы человек-машина-среда; анализ показателей надежности систем данного вида; анализ опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий.

В результате изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск (НТС и ТР)» студенты должны:

Знать:

1. Основные понятия теории надежности, такие как качество и надежность объекта, причины и виды отказов.
2. Основные показатели надежности и методы их определения.
3. Законы распределения случайных величин, используемые в теории надежности.
4. Алгоритмы исследования опасностей.
5. Математический аппарат анализа надежности и техногенного риска, описывающий внезапные, постепенные и комбинированные виды отказов элементов и систем.
6. Методы оценки надежности восстанавливаемых систем без ограничения и с ограничением времени восстановления.
7. Методы оценки надежности систем с различными видами резервирования.
8. Основные виды техногенного риска.
9. Методы качественного анализа надежности и риска.
10. Методы количественного анализа надежности и риска.
11. Основные понятия теории риска и прогнозирования аварий и катастроф.
12. Методики снижения опасности риска и управления риском.

Уметь:

1. Анализировать современные системы «человек-машина-среда» на всех стадиях их жизненного цикла и идентифицировать опасности.
2. Рассчитывать основные показатели надежности систем данного профиля.
3. Планировать и осуществлять мероприятия по повышению надежности технических систем.
4. Рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин.
5. Определять стандартные статистические характеристики чепе (аварий, несчастных случаев, катастроф).

Должны приобрести навыки:

1. По применению методик качественного анализа опасностей сложных технических систем «человек-машина-среда».
2. По применению количественных методов анализа опасностей и оценки риска.

4.СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа построена по модульному принципу и предполагает практическое выполнение индивидуальных и групповых заданий. В ходе обучения обеспечивается индивидуальный подход каждому студенту, в случае необходимости проводятся дополнительные консультации в рамках учебно-тематического плана. Этот подход позволяет повысить продуктивность обучения, а также делает возможным использование разносторонних инновационных методов.

5.ПРИМЕРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПРОГРАММЫ

НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ, ВИДЫ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ И КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ НА ОТРАБОТКУ ТЕМ

ЛЕКЦИИ – 34 часов, ЛАБОРАТОРНЫЕ – 34 часов

№№ тем	Наименование тем	Виды учебных занятий	Кол-во часов
1	Введение	Лекция	2
2	Надежность - как комплексное свойство технического объекта	Лекция	4
3	Причины потери работоспособности технического объекта	Лекция	2
4	Теоретические законы распределения отказов	Лекция	2
5	Резервирование.	Лекция	2
6	Основы расчета надежности технических систем по надежности их элементов	Лекция	4
7	Методика исследования надежности технических систем	Лекция	4
8	Системный подход к анализу надежности и техногенного риска	Лекция	4
9	Техногенный риск и его анализ	Лекция	4
10	Методы качественного анализа надежности и риска	Лекция	4
11	Методы обеспечения надежности сложных систем.	Лекция	2
12	Математический аппарат анализа надежности и техногенного риска	Лабораторное	8
13	Использование математических зависимостей для оценки риска надежности	Лабораторное	8
14	Расчет показателей надежности технических систем с последовательным соединением	Лабораторное	2

№№ тем	Наименование тем	Виды учебных занятий	Кол-во часов
	элементов		
15	Расчет показателей надежности технических систем с параллельным соединением элементов	Лабораторное	2
16	Расчет показателей надежности технических систем с параллельно-последовательным соединением элементов	Лабораторное	2
17	Логико-графические методы анализа надежности и риска	Лабораторное	8
18	Расчет численной оценки риска чрезвычайного происшествия технической системы	Лабораторное	4
19	Классификация аварий и катастроф; статистика аварий и катастроф	Самостоятельно	3
20	Причины аварийности на производстве	Самостоятельно	2
21	Прогнозирование аварий и катастроф	Самостоятельно	3
22	Роль внешних факторов, воздействующих на формирование отказов технических систем. Законы состояния. Законы старения.	Самостоятельно	4
23	Оценка надежности человека как звена сложной технической системы	Самостоятельно	4
24	Организация и проведение экспертизы технических систем	Самостоятельно	3
25	Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем	Самостоятельно	4
26	Комбинированная защита сложных технических систем	Самостоятельно	3
27	Правовые аспекты анализа риска и управления промышленной безопасностью	Самостоятельно	4
28	Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий	Самостоятельно	4
29	Итоговое занятие	экзамен	

6.Лекционный материал по темам

Тема №1. Введение

Учебные вопросы:

1. Понятие и роль дисциплины "Надежность технических систем и техногенный риск".
2. Понятия отказа, аварии, катастрофы.
3. Цели и задачи дисциплины.

Учебные цели занятия:

1. Указать проблемы в области обеспечения надежности технических

систем и техногенного риска.

2. Ознакомить студентов с целями и задачами дисциплины.

Форма и время проведения занятия: лекция, 2 часа.

1. Понятие и роль дисциплины "Надежность технических систем и техногенный риск"

Переход к новым механизмам хозяйствования и развитому рынку путем интенсификации всех производственных процессов невозможен без более полного использования достижений научно- технического прогресса, эффективного использования ресурсов, снижения ущерба от аварийности и травматизма. Решение этой грандиозной задачи требует научно обоснованных подходов к организации и обеспечению безопасности всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и энергетики.

Актуальность проблемы обеспечения безопасности особенно возрастает на современном этапе развития производительных сил, когда из-за трудно предсказуемых техногенных и экологических последствий чрезвычайных происшествий поставлено под сомнение само существование человеческого общества. Рассматриваемая проблема становится все более острой как неизбежное следствие происходящей научно-технической революции, т.е. следствием обострения противоречий между новыми средствами производства и традиционными способами их использования.

Современная цивилизация столкнулась с грандиозной проблемой, заключающейся в том, что основа бытия общества - промышленность, сконцентрировав в себе колоссальные запасы энергии и новых материалов, стала угрожать жизни и здоровью людей, и даже окружающей среде.

Авария в условиях современной техносферы по своим масштабам и тяжести последствий стала сравнима с природными катастрофами и разрушительными последствиями военных действий с применением ядерного оружия. Как свидетельствуют статистические данные последние 20 лет 20-го века принесли 56% от наиболее крупных происшествий в промышленности и на транспорте. Считается, что ущерб от аварийности и травматизма достигает 10...15% от валового национального продукта промышленно развитых государств, а экологическое загрязнение окружающей природной среды и несовершенная техника безопасности являются причиной преждевременной смерти 20.30% мужчин и 10.20% женщин. Сложившаяся кризисная ситуация в вопросах аварийности и травматизма объясняется не только низкой культурой безопасности и технологической недисциплинированностью персонала, но и конструктивным несовершенством используемого в РФ промышленного и транспортного оборудования.

Основными причинами крупных техногенных аварий являются:

— отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации;

— ошибочные действия операторов технических систем;

— концентрации различных производств в промышленных зонах;

— высокий энергетический уровень технических систем;
— внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта и др.

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

Государственная политика в области экологической и промышленной безопасности и новые концепции обеспечения безопасности и безаварийности производственных процессов на объектах экономики, диктуемые Федеральными законами «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 11.11.94 г., «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ, Федеральным законом "О радиационной безопасности населения" от 09.01.96 г. №3-ФЗ, Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.99 г. №52-ФЗ, Федеральным законом "Об использовании атомной энергии" от 21.11.95 г. №170-ФЗ, Федеральным законом "Об охране окружающей " от 10.01.02 г. №7-ФЗ, предусматривают организационно-правовые нормы в области защиты граждан РФ, а также окружающей природной среды от чрезвычайных ситуаций различного происхождения и дают возможность объективной оценки опасностей и позволяют наметить пути, средства и мероприятия борьбы с ними.

Оценка и обеспечение надежности и безопасности технических систем при их создании, отработке и эксплуатации - одна из важнейших проблем в современной технике и экономике.

Оценка опасности различных производственных объектов заключается в определении возникновения возможных чрезвычайных ситуаций, разрушительных воздействий пожаров и взрывов на эти объекты, а также воздействия опасных факторов пожаров и взрывов на людей. Оценка этих опасных воздействий на стадии проектирования объектов осуществляется на основе теории надежности и нормативных требований, разработанных с учетом наиболее опасных условий протекания чрезвычайных ситуаций и проявления их негативных факторов, утечек и проливов опасных химических веществ, пожаров и взрывов, т.е. с учетом аварийной ситуации.

Теория надежности в любой отрасли промышленности опирается на математику и технические дисциплины. Абсолютно надежных конструкций и сооружений не бывает, поэтому выпускник должен уметь грамотно оценивать техногенный риск, заложенный в предлагаемый проект, представленный на техническую экспертизу, средства и мероприятия, предназначенные для минимизации ущерба в случае производственных аварий, оценивать методы их прогнозирования и предупреждения.

Теория надежности — сравнительно молодая научно-техническая дисциплина, формирование которой в современном виде относится к 50-м годам XX столетия. Первые шаги в области исследований надежности были связаны со сбором статистических данных о надежности радиоэлементов, а все усилия специалистов были направлены на определение причин ненадежности. Следующими шагами стали: развитие физической надежности (физики отказов)

и развитие математических основ теории надежности, явившихся обязательным атрибутом разработки и проектирования сложных и ответственных технических систем. В этом ракурсе под теорией надежности понимают научную дисциплину, которая изучает закономерности сохранения во времени техническими системами свойства выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов и транспортирования.

Основные вопросы, которые изучает теория надежности: отказы технических элементов (средств, систем); критерии и количественные характеристики надежности; методы анализа и повышения надежности элементов и систем на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации; методы испытания технических средств на надежность; методы оценки эффективности повышения надежности.

В конкретных областях техники разрабатывались и продолжают разрабатываться прикладные вопросы надежности, вопросы обеспечения надежности данной конкретной техники (радиоэлектронные приборы, средства вычислительной техники, транспортные машины, продуктопроводы, химические реакторы и т. д.). При этом решается вопрос о наиболее рациональном использовании общей теории надежности в конкретной области техники и ведется разработка таких новых положений, методов и приемов, которые отражают специфику данного вида техники. Так возникла прикладная теория надежности.

Обеспечение надежности является серьезной задачей для специалиста, эксплуатирующего сложные технические системы, отказ которых может привести к авариям и чрезвычайным происшествиям. ***Во-первых,*** он должен рассмотреть последствия каждого отказа. Неучтенные отказы могут стать впоследствии причиной невыполнения производственной программы. ***Во-вторых,*** частые отказы или длительные периоды неисправного состояния могут привести к полной потере работоспособности системы и ее непригодности к последующей эксплуатации. ***Третий*** аспект надежности связан с безопасностью для людей и окружающей среды.

Очевидно, без знания основных вопросов математической теории надежности невозможно реализовать наилучшие условия проектирования технических систем и решить задачи безопасности при эксплуатации.

2. Понятия отказа, аварии, катастрофы

Двадцатый век, как век научно-технической революции, продвинул развитие общества во всех сферах на небывалый до этого высокий уровень. Однако одновременно он принёс и колоссальные катастрофы самого различного характера.

Авария - происшествие в технической системе, не сопровождающееся гибелью людей, при котором восстановление технических средств невозможно или экономически нецелесообразно.

Катастрофа - происшествие в технической системе, сопровождающееся

гибелью или пропажей без вести людей.

Большинство здравомыслящего населения сегодня уже не дискутирует по поводу того, надо или нет учиться безопасной жизнедеятельности и защите от чрезвычайных ситуаций.

Потенциальные опасности в промышленности. В России функционирует около 8 тысяч взрывопожароопасных объектов и более 29 тысяч напорных гидротехнических сооружений (ГТС). В зонах возможного воздействия поражающих факторов при возникновении ЧС на промышленных объектах, включая химически, ядерно- и радиационно опасные и ГТС, проживает свыше 100 млн. человек.

Основные поражающие факторы чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах связаны с фугасным, термическим и осколочным воздействием. Зоны поражения, как правило, не выходят за пределы самих объектов и их окрестных зон. Однако, когда строительство ведется с нарушением СНиП, в непосредственной близости от технологических объектов оказываются жилые дома, хозяйственные или промышленные сооружения. Особенно резко возрастает опасность поражения людей при взрывах в местах хранения боеприпасов и спецхимии. Сохраняется риск возникновения ЧС, связанный с медленными темпами реконструкции и модернизации производств, снижением квалификации специалистов и значительным числом нарушений правил техники безопасности.

Достаточно серьезную опасность представляют собой взрывы на объектах, зоны возможного поражения которых могут простираться далеко за пределы их территорий.

Так, в санитарно-защитных зонах газовых промыслов и других потенциально опасных объектов ОАО «Газпром» находится более 850 зданий, сооружений и других объектов, принадлежащих «третьим» лицам, в том числе 176 отдельных жилых домов, 485 дачных и садовых участков, 143 нежилых строения (нежилые здания, гаражи, стоянки, цеха, склада и т.п.) и 11 животноводческих ферм. Прогнозируемая численность населения, которое может оказаться в зонах вероятных ЧС на взрывопожароопасных объектах, превышает 3,5 тыс. человек.

Любая техногенная авария на объектах газовой отрасли несет в себе потенциальную угрозу, особенно в плотно населенных, хорошо освоенных районах с развитой инфраструктурой. Дело в том, что на промышленных предприятиях и объектах этой отрасли в технологических процессах используется взрывопожароопасное углеводородное сырье, которое отличается также высокой коррозионной активностью и токсичностью. Кроме того, опасным фактором является наличие на предприятиях и у населения природного и сжиженного газа, используемого для промышленных и бытовых нужд. Высокая взрывоопасность газа при нарушениях технологического процесса и правил обращения с ним может привести к значительным чрезвычайным ситуациям.

Большое число погибших и пострадавших отмечается в угольной промышленности. В организациях по добыче (переработке) угля в 2005 г. произошло 40 аварий. Больше всего их случилось в Кузбассе - 23 и Печорском

бассейне — 13. В этой отрасли произошло 119 несчастных случаев со смертельным исходом. Основные причины смертельного травматизма на горнорудных предприятиях: износ технологического транспорта и механизмов; обрушение горных масс; падение с высоты; электротравмы.

На опасных производственных объектах нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности в 2005 г. произошло 16 аварий. Общее количество несчастных случаев со смертельным исходом составило 27. Увеличилось количество групповых несчастных случаев - до 16, при этом пострадало 43 человека.

В числе причин аварий со смертельным исходом неудовлетворительное состояние технических устройств, зданий и сооружений, а также нарушение производственной дисциплины, неосторожные (несанкционированные) действия исполнителей работ (27%); плохая организация проведения сложных ремонтных и иных видов опасных работ (24,1%); нарушение технологии производства работ (24%).

На опасных производственных объектах нефтепродуктообеспечения произошло 9 аварий и 16 несчастных случаев со смертельным исходом. Повышенный риск эксплуатации линейных частей магистральных нефтепроводов связан, в первую очередь, с большой протяженностью и сложностью трасс, высоким содержанием нефти в трубопроводах, их прохождением вблизи мест сосредоточения людей: населенных пунктов, автомобильных и железных дорог.

На магистральном трубопроводном транспорте произошло 37 аварий, в которых погибло 5 и травмировано 10 человек; в нефтедобыче - 22 аварии, в которых травмировано 17 и погибло 27 человек. В основном аварийность и травматизм на объектах нефтегазодобычи связаны с низкой производственной дисциплиной, недостаточной профессиональной подготовкой персонала, а также с неэффективностью производственного контроля соблюдения требований промышленной безопасности и охраны труда.

Значительную угрозу для населения представляет нестабильная работа объектов энергоснабжения. Только вследствие ЧС федерального уровня в системе электроснабжения г. Москвы (аварии на подстанции «Чагино» 25 мая 2005 г.) пострадало 4 927 820 человек.

Между тем в электроэнергетике количество оборудования, отработавшего свой ресурс, составляет 60-65%.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния оборудования, объекта.

Отказ по общей причине — неспособность ряда устройств или узлов выполнять свои функции в результате единичного конкретного события или причины. К таковым обычно относят недостаток проекта, погрешность в изготовлении, ошибки во время эксплуатации и технического обслуживания, природное явление, вызванное деятельностью человека событие, насыщение сигналов или непреднамеренные нарастающие последствия от любой другой операции, или отказа на технологической установке, или от изменения условий окружающей среды.

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

Чрезвычайное происшествие (ЧП) - событие, происходящее кратковременно и обладающее высоким уровнем негативного воздействия на людей, природные и материальные ресурсы. К ЧП относятся крупные аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - состояние объекта, территории или акватории, как правило, после ЧП, при котором возникает угроза жизни и здоровью для группы людей, наносится материальный ущерб населению и экономике, деградирует природная среда.

3. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина изучается с целью формирования специалиста, способного прогнозировать, оценивать, устранять причины и смягчать последствия нештатного взаимодействия компонентов в системах типа человек-машина-среда, а также, способного создавать современную технику.

Задачи дисциплины - формирование умений и навыков по следующим направлениям деятельности: разработка физических и математических моделей системы человек-машина-среда; анализ показателей надежности систем данного вида; анализ опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий.

В результате изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск (НТС и ТР)» студенты должны:

Знать:

1. Основные понятия теории надежности, такие как качество и надежность объекта, причины и виды отказов.
2. Основные показатели надежности и методы их определения.
3. Законы распределения случайных величин, используемые в теории надежности.
4. Алгоритмы исследования опасностей.
5. Математический аппарат анализа надежности и техногенного риска, описывающий внезапные, постепенные и комбинированные виды отказов элементов и систем.
6. Методы оценки надежности восстанавливаемых систем без ограничения и с ограничением времени восстановления.
7. Методы оценки надежности систем с различными видами резервирования.
8. Основные виды техногенного риска.
9. Методы качественного анализа надежности и риска.
10. Методы количественного анализа надежности и риска.
11. Основные понятия теории риска и прогнозирования аварий и катастроф.
12. Методики снижения опасности риска и управления риском.

Уметь:

1. Анализировать современные системы «человек-машина-среда» на всех стадиях их жизненного цикла и идентифицировать опасности.
2. Рассчитывать основные показатели надежности систем данного профиля.
3. Планировать и осуществлять мероприятия по повышению надежности технических систем.
4. Рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин.
5. Определять стандартные статистические характеристики чепе (аварий, несчастных случаев, катастроф).

Тема №2. Надежность - как комплексное свойство технического объекта

Учебные вопросы:

1.Основные понятия теории надежности.

2. Определение надежности.

3.Единичные показатели надежности: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.

4.Виды надежности.

5. Критерии и количественные характеристики надежности.

6.Критерии надежности невосстанавливаемых объектов.

7.Критерии надежности восстанавливаемых объектов.

Учебные цели занятия:

1. Раскрыть основные понятия и показатели надежности машин и технических систем.
2. Ознакомить студентов с критериями и количественными характеристиками надежности объектов.

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1. Основные понятия теории надежности

В основу перечня положен ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», формулирующий применяемые в науке и технике термины и определения в области надежности. Однако не все термины охватываются указанным ГОСТом, поэтому в отдельных пунктах введены дополнительные термины, отмеченные «звездочкой» (*).

В теории надежности используют понятия ***ОБЪЕКТ, ЭЛЕМЕНТ, СИСТЕМА.***

ОБЪЕКТ — техническое изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации.

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.

Элемент системы — объект, представляющий отдельную часть системы. Само понятие элемента условно и относительно, так как любой элемент, в свою очередь, всегда можно рассматривать как совокупность других элементов.

Понятия ***система*** и ***элемент*** выражены друг через друга, поскольку одно из них следовало бы принять в качестве исходного, постулировать. Понятия эти относительны: объект, считавшийся системой в одном исследовании, может рассматриваться как элемент, если изучается объект большего масштаба. Кроме того, само деление системы на элементы зависит от характера рассмотрения (функциональные, конструктивные, схемные или оперативные элементы), от требуемой точности проводимого исследования, от уровня наших представлений, от объекта в целом.

Человек-оператор также представляет собой одно из звеньев системы ***человек-машина.***

Система — объект, представляющий собой совокупность элементов, связанных между собой определенными отношениями взаимодействующих таким образом, чтобы обеспечить выполнение системой некоторой достаточно сложной функции.

Признаком системности является структурированность системы, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели. Системы функционируют в пространстве и времени.

Состояние объекта

Исправность — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

Неисправность — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД.

Работоспособность — состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных НТД.

Основные параметры характеризуют функционирование объекта при выполнении поставленных задач и устанавливаются нормативно-технической документацией.

Неработоспособность — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД.

Понятие ***исправность*** шире, чем понятие ***работоспособность.*** Работоспособный объект в отличие от исправного удовлетворяет лишь тем требованиям НТД, которые обеспечивают его нормальное функционирование при выполнении поставленных задач.

Работоспособность и неработоспособность в общем случае могут быть полными или частичными. Полностью работоспособный объект обеспечивает в определенных условиях максимальную эффективность его применения. Эффективность применения в этих же условиях частично работоспособного объекта меньше максимально возможной, но значения ее показателей при этом еще находятся в пределах, установленных для такого функционирования, которое считается нормальным. Частично неработоспособный объект может

функционировать, но уровень эффективности при этом ниже допускаемого. Полностью неработоспособный объект применять по назначению невозможно.

Понятия частичной работоспособности и частичной неработоспособности применяют главным образом к сложным системам, для которых характерна возможность нахождения в нескольких состояниях. Эти состояния различаются уровнями эффективности функционирования системы. Работоспособность и неработоспособность некоторых объектов могут быть полными, т.е. они могут иметь только два состояния.

Работоспособный объект в отличие от исправного обязан удовлетворять лишь тем требованиям НТД, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. При этом он может не удовлетворять, например, эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида объекта не препятствует его нормальному (эффективному) функционированию.

Очевидно, что работоспособный объект может быть неисправным, однако отклонения от требований НТД при этом не настолько существенны, чтобы нарушалось нормальное функционирование.

Предельное состояние — состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению должно быть прекращено из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого отклонения заданных параметров за установленные пределы, недопустимого увеличения эксплуатационных расходов или необходимости проведения капитального ремонта.

Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются НТД на данный объект.

Невосстанавливаемый объект достигает предельного состояния при возникновении отказа или при достижении заранее установленного предельно допустимого значения срока службы или суммарной наработки, устанавливаемых из соображений безопасности эксплуатации в связи с необратимым снижением эффективности использования ниже допустимой или в связи с увеличением интенсивности отказов, закономерным для объектов данного типа после установленного периода эксплуатации.

Для восстанавливаемых объектов переход в предельное состояние определяется наступлением момента, когда дальнейшая эксплуатация невозможна или нецелесообразна вследствие следующих причин:

— становится невозможным поддержание его безопасности, безотказности или эффективности на минимально допустимом уровне;
— в результате изнашивания и (или) старения объект пришел в такое состояние, при котором ремонт требует недопустимо больших затрат или не обеспечивает необходимой степени восстановления исправности или ресурса.

Для некоторых восстанавливаемых объектов предельным состоянием считается такое, когда необходимое восстановление исправности может быть осуществлено только с помощью капитального ремонта.

Режимная управляемость* — свойство объекта поддерживать нормальный режим посредством управления с целью сохранения или восстановления нормального режима его работы.

Живучесть* — свойство объекта противостоять локальным возмущениям и отказам, не допуская их системного развития с массовыми отказами.

Безопасность* — свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Переход объекта в различные состояния

Повреждение — событие, заключающееся в нарушении исправности объекта при сохранении его работоспособности.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Критерий отказа — отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт отказа.

Признаки (критерии) отказов устанавливаются НТД на данный объект.

Восстановление — процесс обнаружения и устранения отказа (повреждения) с целью восстановления его работоспособности (исправности).

Восстанавливаемый объект — объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в рассматриваемых условиях.

Невосстанавливаемый объект — объект, работоспособность которого в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в рассматриваемых условиях.

При анализе надежности, особенно при выборе показателей надежности объекта, существенное значение имеет решение, которое должно быть принято в случае отказа объекта. Если в рассматриваемой ситуации восстановление работоспособности данного объекта при его отказе по каким-либо причинам признается нецелесообразным или неосуществимым (например, из-за невозможности прерывания выполняемой функции), то такой объект в данной ситуации является невосстанавливаемым. Таким образом, один и тот же объект в зависимости от особенностей или этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым. Например, аппаратура метеоспутника на этапе хранения относится к восстанавливаемой, а во время полета в космосе — невосстанавливаемой. Более того, даже один и тот же объект можно отнести к тому или иному типу в зависимости от назначения: ЭВМ, используемая для неоперативных вычислений, является объектом восстанавливаемым, так как в случае отказа любая операция может быть повторена, а та же ЭВМ, управляющая сложным технологическим процессом в химии, является объектом невосстанавливаемым, так как отказ или сбой приводит к непоправимым последствиям.

Авария* — событие, заключающееся в переходе объекта с одного уровня работоспособности или относительного уровня функционирования на другой, существенно более низкий, с крупным нарушением режима работы объекта. Авария может привести к частичному или полному разрушению объекта, созданию опасных условий для человека и окружающей среды.

Временные характеристики объекта

Наработка — продолжительность или объем работы объекта. Объект может работать непрерывно или с перерывами. Во втором случае учитывается суммарная наработка. Наработка может измеряться в единицах времени, циклах, единицах выработки и других единицах. В процессе эксплуатации различают суточную,

месячную наработку, наработку до первого отказа, наработку между отказами, заданную наработку и т. д.

Если объект эксплуатируется в различных режимах нагрузки, то, например, наработка в облегченном режиме может быть выделена и учитываться отдельно от наработки при номинальной нагрузке.

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕСУРС — наработка объекта от начала его эксплуатации до достижения предельного состояния.

Обычно указывается, какой именно технический ресурс имеется в виду: до среднего, капитального, от капитального до ближайшего среднего и т. п. Если конкретного указания не содержится, то имеется в виду ресурс от начала эксплуатации до достижения предельного состояния после всех (средних и капитальных) ремонтов, т.е. до списания по техническому состоянию.

СРОК СЛУЖБЫ — календарная продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после капитального или среднего ремонта до наступления предельного состояния.

Под ***ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ*** объекта понимается стадия его существования в распоряжении потребителя при условии применения объекта по назначению, что может чередоваться с хранением, транспортированием, техническим обслуживанием и ремонтом, если это осуществляется потребителем.

СРОК СОХРАНЯЕМОСТИ — календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения установленных показателей (в том числе и показателей надежности) в заданных пределах.

2.Определение надежности

Работа любой технической системы может характеризоваться ее эффективностью (рис.1.), под которой понимается совокупность свойств, определяющих способность системы успешно выполнять определенные задачи.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 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.

Таким образом:

1. Надежность — *свойство* объекта *сохранять во времени способность выполнять требуемые функции*. Например: для электродвигателя — обеспечивать требуемые момент на валу и скорость; для системы электроснабжения — обеспечивать электроприемники энергией требуемого качества.

2. Выполнение требуемых функций должно происходить при значениях параметров в *установленных пределах*. Например: для электродвигателя — обеспечивать требуемые момент и скорость при температуре двигателя, не превышающей определенного предела, отсутствии выделения источника взрыва, пожара и т.д.

3. Способность выполнять требуемые функции должна сохраняться в *заданных режимах* (например, в повторно-кратковременном режиме работы); *в заданных условиях* (например, в условиях запыленности, вибрации и т. д.).

4. Объект должен обладать свойством *сохранять способность выполнять требуемые функции* в различные фазы: при рабочей эксплуатации, техническом обслуживании, ремонте, хранении и транспортировке.

Надежность — важный показатель качества объекта. Его нельзя ни противопоставлять, ни смешивать с другими показателями качества. Явно недостаточной, например, будет информация о качестве очистительной установки, если известно только то, что она обладает определенной производительностью и некоторым коэффициентом очистки, но неизвестно, насколько устойчиво сохраняются эти характеристики при ее работе. Бесполезна также информация о том, что установка устойчиво сохраняет присущие ей характеристики, но неизвестны значения этих характеристик. Вот почему в определение понятия надежности входит выполнение заданных функций и сохранение этого свойства при использовании объекта по назначению.

В зависимости от назначения объекта оно (понятие) может включать в себя в различных сочетаниях безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость. Например, для восстанавливаемого 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 ремонтопригодности, и сохраняемости). В ряде случаев очень важное значение приобретает свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (снятие с эксплуатации, передача в средний или капитальный ремонт), т. е. необходима информация не только о безотказности объекта, но и о его долговечности.

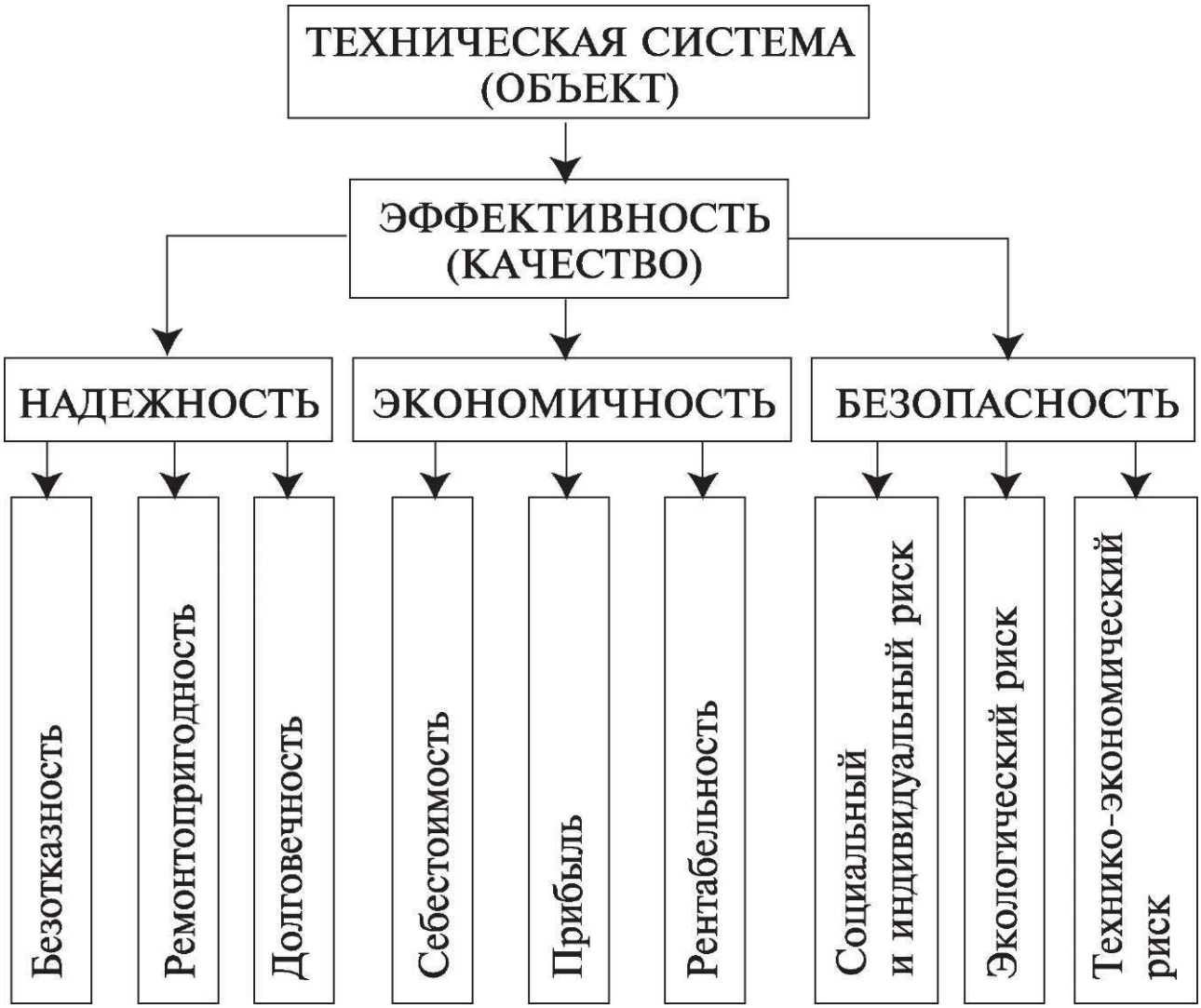


Рис.1. Основные свойства технических систем.

3. Единичные показатели надежности: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.

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

Надежность в общем случае — комплексное свойство, включающее такие понятия, как *безотказность*, *долговечность*, *ремонтопригодность*, *сохраняемость*. Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства

могут иметь различную относительную значимость.

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

Ремонтопригодность — 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 представления: ***вероятностная*** и ***статистическая.*** Вероятностная форма обычно бывает удобнее при априорных аналитических расчетах надежности, статистическая — при экспериментальном исследовании надежности технических систем. Кроме того, оказывается, что одни показатели лучше интерпретируются в вероятностных терминах, а другие — в статистических.

Показатели безотказности и ремонтопригодности

Наработка до отказа — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет (при условии работоспособности в начальный момент времени).

Для режимов хранения и транспортировки может применяться аналогично определяемый термин ***«вероятность возникновения отказа».***

Средняя наработка до отказа — математическое ожидание случайной наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка между отказами — математическое ожидание случайной наработки объекта между отказами.

Обычно этот показатель относится к установившемуся процессу эксплуатации. В принципе средняя наработка между отказами объектов, состоящих из стареющих во времени элементов, зависит от номера предыдущего отказа. Однако с ростом номера отказа (т.е. с увеличением длительности эксплуатации) эта величина стремится к некоторой постоянной, или, как говорят, к своему стационарному значению.

Средняя наработка на отказ — отношение наработки восстанавливаемого объекта за некоторый период времени к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Этим термином можно назвать кратко ***среднюю наработку до отказа*** и ***среднюю наработку между отказами,*** когда оба показателя совпадают. Для совпадения последних необходимо, чтобы после каждого отказа объект восстанавливался до первоначального состояния.

Заданная наработка — наработка, в течение которой объект должен безотказно работать для выполнения своих функций.

Среднее время простоя — математическое ожидание случайного времени вынужденного нерегламентированного пребывания объекта в состоянии неработоспособности.

Среднее время восстановления — математическое ожидание случайной продолжительности восстановления работоспособности (собственно ремонта).

Вероятность восстановления — вероятность того, что фактическая продолжительность восстановления работоспособности объекта не превысит заданной.

Показатель технической эффективности функционирования — мера качества собственно функционирования объекта или целесообразности использования объекта для выполнения заданных функций.

Этот показатель определяется количественно как математическое ожидание выходного эффекта объекта, т. е. в зависимости от назначения системы принимает Для показателей надежности используются две формы представления: ***вероятностная*** и ***статистическая.*** Вероятностная форма обычно бывает удобнее при априорных аналитических расчетах надежности, статистическая — при экспериментальном исследовании надежности технических систем. Кроме того, оказывается, что одни показатели лучше интерпретируются в вероятностных терминах, а другие — в статистических.

Показатели безотказности и ремонтопригодности

Наработка до отказа — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет (при условии работоспособности в начальный момент времени).

Для режимов хранения и транспортировки может применяться аналогично определяемый термин ***«вероятность возникновения отказа».***

Средняя наработка до отказа — математическое ожидание случайной наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка между отказами — математическое ожидание случайной наработки объекта между отказами.

Обычно этот показатель относится к установившемуся процессу эксплуатации. В принципе средняя наработка между отказами объектов, состоящих из стареющих во времени элементов, зависит от номера предыдущего отказа. Однако с ростом номера отказа (т.е. с увеличением длительности эксплуатации) эта величина стремится к некоторой постоянной, или, как говорят, к своему стационарному значению.

Средняя наработка на отказ — отношение наработки восстанавливаемого объекта за некоторый период времени к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Этим термином можно назвать кратко ***среднюю наработку до отказа*** и ***среднюю наработку между отказами,*** когда оба показателя совпадают. Для совпадения последних необходимо, чтобы после каждого отказа объект восстанавливался до первоначального состояния.

Заданная наработка — наработка, в течение которой объект должен безотказно работать для выполнения своих функций.

Среднее время простоя — математическое ожидание случайного времени вынужденного нерегламентированного пребывания объекта в состоянии неработоспособности.

Среднее время восстановления — математическое ожидание случайной продолжительности восстановления работоспособности (собственно ремонта).

Вероятность восстановления — вероятность того, что фактическая продолжительность восстановления работоспособности объекта не превысит заданной.

Показатель технической эффективности функционирования — мера качества собственно функционирования объекта или целесообразности использования объекта для выполнения заданных функций.

Этот показатель определяется количественно как математическое ожидание выходного эффекта объекта, т. е. в зависимости от назначения системы принимает

конкретное выражение. Часто показатель эффективности функционирования определяется как полная вероятность выполнения объектом задачи с учетом возможного снижения качества его работы из-за возникновения частичных отказов.

Коэффициент сохранения эффективности — показатель, характеризующий влияние степени надежности к максимально возможному значению этого показателя (т. е. соответствующему состоянию полной работоспособности всех элементов объекта).

Нестационарный коэффициент готовности — вероятность того, что объект окажется работоспособным в заданный момент времени, отсчитываемый от начала работы (или от другого строго определенного момента времени), для которого известно начальное состояние этого объекта.

Средний коэффициент готовности — усредненное на заданном интервале времени значение нестационарного коэффициента готовности.

Стационарный коэффициент готовности (коэффициент готовности) — вероятность того, что восстанавливаемый объект окажется работоспособным в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. Коэффициент готовности может быть определен и как отношение времени, в течение которого объект находится в работоспособном состоянии, к общей длительности рассматриваемого периода. Предполагается, что рассматривается установившийся процесс эксплуатации, математической моделью которого является стационарный случайный процесс. Коэффициент готовности является предельным значением, к которому стремятся и нестационарный, и средний коэффициенты готовности с ростом рассматриваемого интервала времени.

Часто используются показатели, характеризующие простой объект, так называемые коэффициенты простоя соответствующего типа. Каждому коэффициенту готовности можно поставить в соответствие определенный ***коэффициент простоя,*** численно равный дополнению соответствующего коэффициента готовности до единицы. В соответствующих определениях

работоспособность следует заменить на неработоспособность.

Нестационарный коэффициент оперативной готовности — вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в заданный момент времени, отсчитываемый от начала работы (или от другого строго определенного времени), и начиная с этого момента времени будет работать безотказно в течение заданного времени.

Средний коэффициент оперативной готовности — усредненное на заданном интервале значение нестационарного коэффициента оперативной готовности ***Стационарный коэффициент оперативной готовности (коэффициент оперативной готовности)*** — вероятность того, что восстанавливаемый элемент окажется работоспособным в произвольный момент времени, и с этого момента времени будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Предполагается, что рассматривается установившийся процесс эксплуатации, которому соответствуют в качестве математической модели стационарный случайный процесс.

Коэффициент технического использования — отношение средней наработки объекта в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме средних значений наработки, времени простоя, обусловленного техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации.

Интенсивность отказов — условная плотность вероятности отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Параметр потока отказов — плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени.

Параметр потока отказа может быть определен как отношение числа отказов объекта за определенный интервал времени к длительности этого интервала при ординарном потоке отказов.

Интенсивность восстановления — условная плотность вероятности восстановления работоспособности объекта, определенная для рассматриваемого момента времени, при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Показатели долговечности и сохраняемости

Гамма-процентный ресурс — наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью $1 - \gamma$.

Средний ресурс — математическое ожидание ресурса.

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

Средний ремонтный ресурс — средний ресурс между смежными капитальными ремонтами объекта.

Средний ресурс до списания — средний ресурс объекта от начала

эксплуатации до его списания.

Средний ресурс до капитального ремонта средний ресурс от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта.

Гамма-процентный срок службы — срок службы, в течение которого объект не достигает предельного состояния с вероятностью 1 — у.

Средний срок службы — математическое ожидание срока службы.

Средний межремонтный срок службы — средний срок службы между смежными капитальными ремонтами объекта.

Средний срок службы до капитального ремонта — средний срок службы от начала эксплуатации объекта до его первого капитального ремонта ***Средний срок службы до списания*** — средний срок службы от начала эксплуатации объекта до его списания.

Гамма-процентный срок сохраняемости — продолжительность хранения, в течение которой у объекта сохраняются установленные показатели с заданной вероятностью 1 — у.

Средний срок сохраняемости — математическое ожидание срока сохраняемости.

Классификация показателей. В зависимости от способа получения показатели подразделяют на *расчетные,* получаемые расчетными методами; *экспериментальные,* определяемые по данным испытаний; *эксплуатационные,* получаемые по данным эксплуатации.

В зависимости от области использования различают показатели надежности нормативные и оценочные.

Нормативными называют показатели надежности, регламентированные в нормативно- технической или конструкторской документации.

К *оценочным* относят фактические значения показателей надежности опытных образцов.

4.Виды надежности

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

- — ***аппаратурную надежность,*** обусловленную состоянием аппаратов; 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 качества обслуживания объекта человеком-оператором.

5.Критерии и количественные характеристики надежности

Критерием надежности называется признак, по которому можно количественно оценить надежность различных устройств.

К числу наиболее широко применяемых критериев надежности относятся:

— вероятность безотказной работы в течение определенного времени *P(t);*

— средняя наработка до первого отказа $T_{ср;}$

— наработка на отказ $t_{ср}$;

— частота отказов f(t) или *a(t);*

— интенсивность отказов *λ(t);*

— параметр потока отказов ω(t);

— функция готовности $K_T(t);$

— коэффициент готовности $К_{г.}$

Характеристикой надежности следует называть количественное значение критерия надежности конкретного устройства.

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида объекта.

6.Критерии надежности невосстанавливаемых объектов

Рассмотрим следующую модель работы устройства.

Пусть в работе (на испытании) находится N_o элементов и работа считается законченной, если все они отказали. Причем вместо отказавших элементов отремонтированные не ставятся. Тогда критериями надежности данных изделий являются:

— вероятность безотказной работы P(t);

— частота отказов *f(t)* или *a(t);*

— интенсивность отказов *X(t);*

— средняя наработка до первого отказа $T_{ср}$.

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Согласно определению: $P(t) = P(T > t)$, (1.)

где: T — время работы элемента от его включения до первого отказа;

t — время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы. Вероятность безотказной работы *по статистическим данным* об отказах оценивается выражением:

$$P(t) = [N_o - n(t)] / N_o, \quad (2.)$$

где: N_o — число элементов в начале работы (испытаний);

n(t) — число отказавших элементов за время t;

$P(t)$ — статистическая оценка вероятности безотказной работы. При большом числе элементов (изделий) N_o статистическая оценка $P(t)$ практически совпадает с вероятностью безотказной работы P(t). На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа $Q(t)$.

Вероятностью отказа называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому: $Q(t) = 1 - P(t)$ (3.)

Частотой отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к первоначальному числу работающих (испытываемых) при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются. Согласно определению:

$$f(t) = n(\Delta t) / No\ \Delta t, \quad (4.)$$

где: $n(\Delta t)$ — число отказавших элементов в интервале времени от $(t - \Delta t) / 2$ до $(t + \Delta t) / 2$

Интенсивностью отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени. Согласно определению

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы элемента до отказа.

Из выражений для оценки количественных характеристик надежности видно, что все характеристики, кроме средней наработки до первого отказа, являются функциями времени.

7.Критерии надежности восстанавливаемых объектов

Рассмотренные критерии надежности позволяют достаточно полно оценить надежность невосстанавливаемых изделий. Они также позволяют оценить надежность восстанавливаемых изделий до первого отказа. Наличие нескольких критериев вовсе не означает, что всегда нужно оценивать надежность элементов по всем критериям.

Наиболее полно надежность изделий характеризуется *частотой отказов* $f(t)$ или $\alpha(t)$. Это объясняется тем, что частота отказов является плотностью распределения, а поэтому несет в себе всю информацию о случайном явлении — времени безотказной работы.

Средняя наработка до первого отказа является достаточно наглядной характеристикой надежности. Однако применение этого критерия для оценки надежности сложной системы ограничено в тех случаях, когда

— время работы системы гораздо меньше среднего времени безотказной работы;

— закон распределения времени безотказной работы не однопараметрический и для достаточно полной оценки требуются моменты высших порядков;
— система резервированная;
— интенсивность отказов не постоянная;
— время работы отдельных частей сложной системы разное.

Интенсивность отказов — наиболее удобная характеристика надежности простейших элементов, так как она позволяет более просто вычислять количественные характеристики надежности сложной системы.

Наиболее целесообразным критерием надежности сложной системы *является* вероятность безотказной работы. Это объясняется следующими особенностями вероятности безотказной работы:

- она входит в качестве сомножителя в другие, более общие характеристики системы, например, в эффективность и стоимость;
- характеризует изменение надежности во времени;
- может быть получена сравнительно просто расчетным путем в процессе проектирования системы и оценена в процессе ее испытания

Рассмотрим следующую модель работы.

Пусть в работе находится N элементов и отказавшие элементы немедленно заменяются исправными (новыми или отремонтированными). Если не учитывать времени, потребного на восстановление системы, то количественными характеристиками надежности могут быть параметр потока отказов $\omega(t)$ и наработка на отказ $t_{ср}$.

Параметром потока отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).

Наработкой на отказ называется среднее значение времени между соседними отказами.

Наработка на отказ является достаточно наглядной характеристикой надежности, поэтому она получила широкое распространение на практике.

Параметр потока отказов и наработка на отказ характеризуют надежность восстанавливаемого изделия и не учитывают времени, необходимого на его восстановление. Поэтому они не характеризуют готовности устройства к выполнению своих функций в нужное время. Для этой цели вводятся такие критерии, как коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя.

Коэффициентом готовности называется отношение времени исправной работы к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев устройства, взятых за один и тот же календарный срок.

Коэффициентом вынужденного простоя называется отношение времени вынужденного простоя к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев изделия, взятых за один и тот же календарный срок.

В некоторых случаях критериями надежности восстанавливаемых систем могут быть критерии невосстанавливаемых систем, например:

вероятность безотказной работы, частота отказов, средняя наработка до первого отказа, интенсивность отказов. Такая необходимость возникает:

— когда имеет смысл оценивать надежность восстанавливаемой системы до первого отказа;

— в случае, когда применяется резервирование с восстановлением отказавших резервных устройств в процессе работы системы, причем отказ всей резервированной системы не допускается.

Тема №3. Причины потери работоспособности технического объекта

Учебные вопросы:

1. Источники и причины изменения начальных параметров технической системы.
2. Процессы, снижающие работоспособность системы.
3. Характеристики отказов.
4. Виды отказов и причинные связи.

Учебные цели занятия:

1. Изучить источники и причины изменения начальных параметров технической системы.
2. Изучить процессы, снижающие работоспособность системы.
3. Дать характеристику и виды отказов.

Форма и время проведения занятия: лекция, 2 часа.

1. Источники и причины изменения начальных параметров технической системы

Те изменения, которые происходят с течением времени в любой технической системе и приводят к потере ее работоспособности, связаны с внешними и внутренними воздействиями, которым она подвергается. В процессе эксплуатации на систему действуют все виды энергии, что может привести к изменению параметров отдельных элементов, механизмов и системы в целом. При этом имеется три основных источника воздействий:

- действие энергии окружающей среды, включая человека, исполняющего функции оператора или ремонтника;
- внутренние источники энергии, связанные как с рабочими процессами, протекающими в технической системе, так и с работой отдельных элементов системы;
- потенциальная энергия, которая накоплена в материалах и деталях узлов системы в процессе их изготовления (внутренние напряжения в отливке, монтажные напряжения).

При работе технического объекта наблюдаются следующие основные виды энергии, влияющие на его работоспособность.

Механическая энергия, которая не только передается по всем элементам системы в процессе работы, но и воздействует на нее в виде статических или динамических нагрузок от взаимодействия с внешней средой.

Силы, возникающие в узлах технической системы, определяются характером рабочего процесса, инерцией перемещающихся частей, трением в кинематических парах. Эти силы являются случайными функциями времени. Природа их возникновения, как правило, связана со сложными физическими явлениями.

Механическая энергия в системе может возникнуть и как следствие тех затрат энергии, которые имели место при изготовлении отдельных частей системы и сохранились в них в потенциальной форме. Например, деформация частей при перераспределении внутренних напряжений, изменение объема детали после ее термической обработки происходят без всяких внешних воздействий.

Тепловая энергия действует на систему и ее части при колебаниях температуры окружающей среды, при осуществлении рабочего процесса (особенно сильные тепловые воздействия имеют место при работе двигателей и ряда технологических машин), при работе приводных механизмов, электротехнических и гидравлических устройств.

Химическая энергия также оказывает влияние на работу системы. Даже воздух, который содержит влагу и агрессивные составляющие, может вызвать коррозию отдельных узлов системы.

Если же оборудование системы работает в условиях агрессивных сред (оборудование химической промышленности, суда, многие машины текстильной промышленности и др.), то химические воздействия вызывают процессы, приводящие к разрушению отдельных элементов и узлов системы.

Ядерная (атомная) энергия, выделяющаяся в процессе превращения атомных ядер, может воздействовать на материалы (особенно в космосе), изменяя их свойства.

Электромагнитная энергия в виде радиоволн (электромагнитных колебаний) пронизывает все пространство вокруг объекта и может оказать влияние на работу электронной аппаратуры.

Биологические факторы также могут влиять на работоспособность системы. Например, в тропических странах имеются микроорганизмы, которые не только разрушают некоторые виды пластмасс, но даже могут воздействовать на металл.

Таким образом, все виды энергии действуют на техническую систему и ее механизмы, вызывают в ней целый ряд нежелательных процессов, создают условия для ухудшения ее технических характеристик.

2.Процессы, снижающие работоспособность системы

Различные виды энергии, действуя на систему, вызывают в ее узлах и деталях процессы, снижающие начальные параметры изделия. Эти процессы связаны, как правило, со сложными физико-химическими явлениями и

приводят к деформации, износу, поломке, коррозии и другим видам повреждений. Это, в свою очередь, влечет за собой изменение выходных параметров изделия, что может привести к отказу.

Приведем примеры данных взаимосвязей. Механическая энергия, действующая в звеньях металлорежущего станка, приводит к возникновению процесса износа его звеньев. Это вызывает искажение начальной формы сопряжении (т. е. их повреждение), что приводит к потере станком точности, которая является основным выходным параметром станка. При достижении определенной погрешности обработки возникает отказ.

Химическая энергия вызывает процессы коррозии в резервуарах и трубопроводах агрегатов химической промышленности. Повреждение стенок резервуаров может привести вначале к ухудшению выходных параметров агрегата (загрязнение химических веществ, изменение пропускных сечений трубопроводов), а затем при разрушении стенок к полному выходу из строя изделия.

Сочетание механических воздействий в том числе высокочастотных колебаний, а также влияние температурных и химических факторов на элементы конструкции самолетов приводит к тому, что в них могут возникнуть усталостные разрушения (трещины). Они снижают несущую способность системы, что при определенной величине повреждения приводит к разрушению элемента конструкции и может закончиться аварией.

Повреждение материала изделия — это отклонение его контролируемых свойств от начальных, оно связано с выходными параметрами изделия определенной зависимостью. Не всякое повреждение влияет на выходные параметры изделия. Также и определенная степень этого повреждения может не повлиять на показатели работоспособности.

В надежности машин часто пользуются понятием *дефекта,* т. е. такого состояния изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации, однако остается работоспособным.

4. Характеристики отказов

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (объекта, элемента, 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.

Причины возникновения отказов происходят из-за:

— конструктивных дефектов;

— технологических дефектов;

— эксплуатационных дефектов;

— постепенного старения (износа).

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.

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

По временному аспекту 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. Характерный признак сбоя — то, что восстановление работоспособности после его возникновения не требует ремонта аппаратуры. Примером может служить кратковременно действующая помеха при приеме сигнала, дефекты программы и т. п.

Для анализа и исследования надежности причинные схемы отказов можно представить в виде статистических моделей, которые вследствие вероятностного возникновения повреждений описываются вероятностными законами

5. Виды отказов и причинные связи

Отказы элементов систем являются основными предметами исследования при анализе причинных связей. Отказы могут возникать в результате:

— первичных отказов;
— вторичных отказов;
— ошибочных команд (инициированные отказы);
— множественный отказ.

Отказы всех этих категорий могут иметь различные причины. Когда точный вид отказов определен и данные по ним получены, а конечное событие является критическим, то они рассматриваются как исходные 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.

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 или иметь обратную полярность и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п.

Инициированные отказы (ошибочные команды). Люди, например операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние).

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;
— ошибки эксплуатации и технического обслуживания;
— воздействие окружающей среды;
— внешние катастрофические воздействия;
— общий изготовитель;
— общий внешний источник питания;
— неправильное функционирование.

Тема №4. Теоретические законы распределения отказов

Учебные вопросы:

1. Случайное событие.
2. Случайная величина.
3. Основные законы распределения, используемые в теории надежности.
4. О выборе закона распределения при расчете надежности.

Учебные цели занятия:

1. Ознакомить студентов с теоретическими законами распределения отказов.

2. Ознакомить студентов с основными законами распределения, используемые в теории надежности.

Форма и время проведения занятия: лекция, 2 часа.

1.Случайное событие

Отказы в системах возникают под воздействием разнообразных факторов. Поскольку каждый фактор в свою очередь зависит от многих причин, то отказы элементов, входящих в состав системы, относятся, как правило, к случайным событиям, а время работы до возникновения отказов — к случайным величинам. В инженерной практике возможны и не случайные (детерминированные) отказы (отказы, возникновение которых происходит в определенный момент времени, т.е. в момент возникновения причины, так как существует однозначная и определенная связь между причиной отказа и моментом его возникновения). Например, если в цепи аппаратов ошибочно поставлен элемент, не способный работать при пиковой нагрузке, то всякий раз

когда возникает эта нагрузка, он обязательно перейдет в отказовое состояние. Такие отказы выявляются и устраняются в процессе проверки технической документации и испытаний.

При анализе надежности объектом исследования являются случайные события и величины. В качестве теоретических распределений наработки до отказа могут быть использованы любые применяемые в теории вероятностей непрерывные распределения. В принципе можно взять любую кривую, площадь под которой равна единице, и использовать ее в качестве кривой распределения случайной величины. Поэтому, прежде чем приступить к инженерным методам расчета надежности и испытаний на надежность, следует рассмотреть закономерности, которым они подчиняются.

Случайное событие — событие (факт, явление), которое в результате опыта может произойти или не произойти. Случайные события (отказы, восстановления, заявки на обслуживание и др.) образуют случайные потоки и случайные процессы. Поток событий — последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то отрезки времени. Например, отказы восстанавливаемого устройства образуют поток событий (поток отказов). Под действием потока отказов и потока восстановлений техническое устройство может находиться в различных состояниях (полного отказа, частичного отказа, работоспособное). Переход изделия из одного состояния в другое представляет собой случайный процесс.

2.Случайная величина

Случайная величина — величина, которая в результате опыта может принимать то или иное значение, причем неизвестно заранее какое именно. Случайная величина может быть дискретной (число отказов за время t, число отказавших элементов при наработке заданного объема и т. д.), либо непрерывной (время наработки элемента до отказа, время восстановления работоспособности).

Закон распределения случайной величины — соотношение, устанавливающее связь между значениями случайной величины и их вероятностями. Он может быть представлен формулой, таблицей, многоугольником распределений.

Для характеристики случайной величины (непрерывной и дискретной) используется вероятность того, что случайная величина *X* меньше некоторой текущей переменой x.

Функция распределения случайной величины X (интегральный закон распределения) — *функция вида* $F(x) = p\ (X < x)$.

Плотность распределения непрерывной случайной величины X (дифференциальный закон распределения) — производная от функции распределения.

3.Основные законы распределения, используемые в теории надежности

В теории надежности наибольшее распространение получили следующие законы распределения случайных величин *f(t):*

— для дискретных случайных величин — биноминальный закон; закон Пуассона;

— для непрерывных случайных величин — экспоненциальный закон нормальный закон; гамма-распределение; закон Вейбулла;

y^2 — распределение; логарифмически-нормальное распределение.

Указанные законы распределения будем использовать на лабораторных занятиях при расчетах надежности.

4.О выборе закона распределения при расчете надежности

Определение закона распределения отказов имеет большое значение при исследованиях и оценках надежности. Определение P(t) по одной и той же исходной информации о T, но при различных предположениях о законе распределения может привести к существенно отличающимся результатам.

Закон распределения отказов можно определить по экспериментальным данным, но для этого необходимо проведение большого числа опытов в идентичных условиях. Практически эти условия, как правило, трудно обеспечить. Кроме того, такое решение содержит черты пассивной регистрации событий.

Вместе с тем во многих случаях за время эксплуатации успевает отказать лишь незначительная доля первоначально имевшихся объектов. Полученным статистическим данным соответствует начальная (левая) часть экспериментального распределения.

Более рационально — изучение условий, физических процессов при которых возникает то или другое распределение. При этом составляются модели возникновения отказов и соответствующие им законы распределения времени до появления отказа, что позволяет делать обоснованные предположения о законе распределения.

Опытные данные должны служить средством проверки обоснованности прогноза, а не единственным источником данных о законе распределения. Такой подход необходим для оценки надежности новых изделий, для которых статистический материал весьма ограничен.

Тема№5. Резервирование.

Учебные вопросы:

1. Резервирование.
2. Виды резервирования.
3. Способы структурного резервирования.

Учебные цели занятия:

1. Ознакомить студентов с методом повышения надежности объектов – резервированием.

Форма и время проведения занятия: лекция, 2 часа.

1.Резервирование

Резервирование — метод повышения надежности объекта введением дополнительных элементов и функциональных возможностей сверх минимально необходимых для нормального выполнения объектом заданных функций. В этом случае отказ наступает только после отказа основного элемента и всех резервных элементов.

Систему можно представить из ряда ступеней, выполняющих отдельные функции. Задача резервирования состоит в нахождении такого числа резервных образцов оборудования на каждой ступени, которое будет обеспечивать заданный уровень надежности системы при наименьшей стоимости.

Выбор наилучшего варианта зависит главным образом от того увеличения надежности, которое можно достичь при заданных расходах.

Основной элемент — элемент основной физической структуры объекта, минимально необходимой для нормального выполнения объектом его задач.

Резервный элемент — элемент, предназначенный для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента

2.Виды резервирования

Структурное (элементное) резервирование — метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточных элементов, входящих в физическую структуру объекта. Обеспечивается подключением к основной аппаратуре резервной таким образом, чтобы при отказе основной аппаратуры резервная продолжала выполнять ее функции.

Резервирование функциональное — метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование способности элементов выполнять дополнительные функции вместо основных и наряду с ними.

Временное резервирование — метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточного времени, выделенного для выполнения задач. Другими словами, временное резервирование — такое планирование работы системы, при котором создается резерв рабочего времени для выполнения заданных функций. Резервное время может быть использовано для повторения операции, либо для устранения неисправности объекта.

Информационное резервирование — метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточной информации сверх минимально необходимой для выполнения задач.

Нагрузочное резервирование — метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование способности его элементов воспринимать дополнительные нагрузки сверх номинальных.

С позиций расчета и обеспечения надежности технических систем необходимо рассматривать структурное резервирование

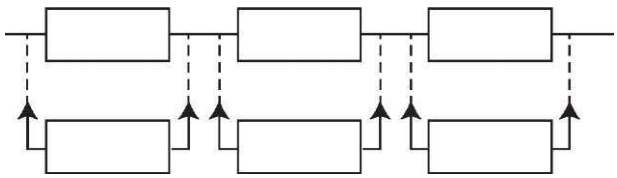
3.Способы структурного резервирования

По способу подключения резервных элементов и устройств различают ниже перечисленные способы резервирования.

Резервирование раздельное (поэлементное) с постоянным включением резервных элементов (рис.2.). Такое резервирование возможно тогда, когда подключение резервного элемента несущественно изменяет рабочий режим устройства. Достоинство его — постоянная готовность резервного элемента, отсутствие затраты времени на переключение. Недостаток — резервный элемент расходует свой ресурс так же, как основной элемент.

Резервирование раздельное с замещением отказавшего элемента одним резервным элементом. Это такой способ резервирования, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы. В этом случае резервный элемент находится в разной степени готовности к замене основного элемента. Достоинство этого способа в том, что резервный элемент сохраняет свои рабочий ресурс, либо может быть использован для выполнения самостоятельной задачи. Рабочий режим основного устройства не искажается. Недостаток способа в том, что необходимость затрачивать время на подключение резервного элемента. Резервных элементов может быть меньше, чем основных.

Рис. 2. Резервирование раздельное с постоянным включением резервных элементов



Резервирование общее с постоянным подключением, либо с замещением. В этом случае резервируется объект в целом, а в качестве резервного — используется аналогичное сложное устройство. Этот способ менее экономен, чем раздельное резервирование. При отказе, например, первого основного элемента возникает необходимость подключать всю технологическую резервную цепочку.

Резервирование мажоритарное («голосование» n из m элементов) . Этот способ основан на применении дополнительного элемента — его называют мажоритарный, или логический, или кворум-элемент.

Он позволяет вести сравнение сигналов, поступающих от элементов, выполняющих одну и ту же функцию. Если результаты совпадают, тогда они передаются на выход устройства. Главное достоинство этого способа — обеспечение повышения надежности при любых видах отказов работающих

элементов. Любой вид одиночного отказа элемента не окажет влияния на выходной результат.

Тема №6. Основы расчета надежности технических систем по надежности их элементов

Учебные вопросы:

1. Целевое назначение и классификация методов расчета.
2. Последовательность расчета систем.
3. Расчет надежности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур.
4. Система с последовательным соединением элементов.
5. Система с параллельным соединением элементов.
6. Способы преобразования сложных структур.

Учебные цели занятия:

1. Рассмотреть основы расчета надежности технических систем по надежности их элементов.
2. Изучить последовательность расчета систем.

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1. Целевое назначение и классификация методов расчета

Расчеты надежности — расчеты, предназначенные для определения количественных показателей надежности. Они проводятся на различных этапах разработки, создания 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;
— способа резервирования;
— 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 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. 3. изображены основные виды расчетов.

Элементный расчет — определение показателей надежности объекта, обусловленных надежностью его комплектующих частей (элементов). В ре-

зультате 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 очистки газа будет работать заданное время, в заданных режимах эксплуатации, с сохранением всех необходимых параметров по показателям очистки). Поскольку такие показатели зависят от ряда действующих факторов, то, как правило, расчет функциональной надежности более сложен, чем элементный расчет.

Выбирая на рис 3. варианты перемещений по пути, указанному стрелками, каждый раз получаем новый вид (случай) расчета.

Самый простой расчет — расчет, характеристики которого представлены на рис. 3. слева: элементный расчет аппаратурной надежности простых изделий, нерезервированных, без учета восстановлений работоспособности при условии, что время работы до отказа подчинено экспоненциальному распределению.

Самый сложный расчет — расчет, характеристики которого представлены на рис. 3. справа: функциональной надежности сложных резервированных систем с учетом восстановления их работоспособности и различных законов распределения времени работы и времени восстановления.

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.

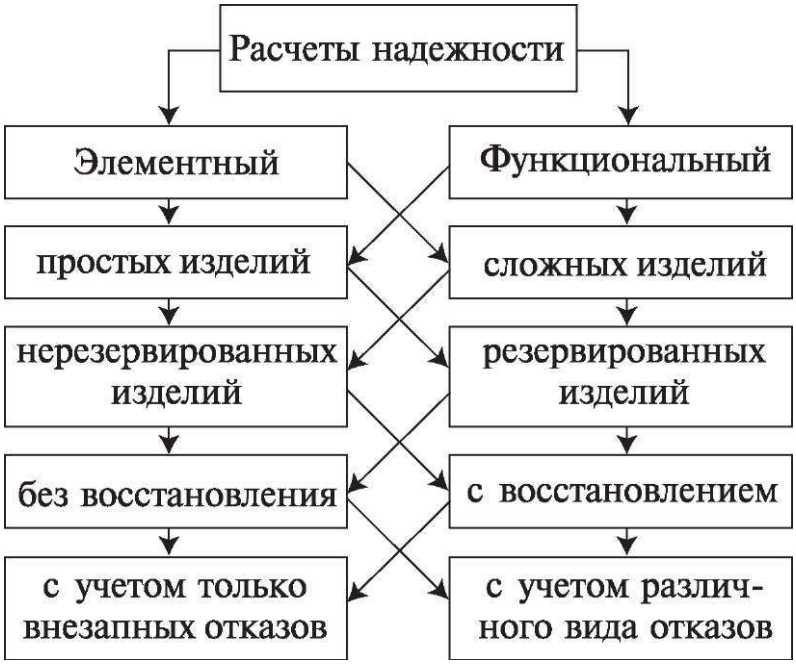


Рис. 3. Классификация расчетов надежности

2.Последовательность расчета систем

Последовательность расчета системы представлена на рис. 4. Рассмотрим основные ее этапы.

Прежде всего следует четко 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.***

Под структурной схемой надежности понимается наглядное представление (графическое или в виде логических выражений) условий, при которых работает или не работает исследуемый объект (система, устройство, технический комплекс и т. д.). Простейшей формой структурной схемы надежности является параллельно-последовательная структура. На ней параллельно соединяются элементы, *совместный отказ* которых приводит к отказу объекта.

В последовательную цепочку соединяются такие элементы, *отказ любого из которых приводит к отказу объекта.*

На рис. 4.5.3, а [6] представлен вариант параллельно-последовательной структуры. По этой структуре можно сделать следующее заключение. Объект состоит из пяти частей. Отказ объекта наступает тогда, когда откажет или элемент 5, или узел, состоящий из элементов 1—4. Узел может отказать тогда, когда одновременно откажет цепочка, состоящая из элементов 3, 4 и узел, состоящий из элементов 1, 2. Цепь 3—4 отказывает, если откажет хотя бы один из составляющих ее элементов, а узел 1, 2 — если откажут оба элемента, т. е. элементы 1, 2. Расчет надежности при наличии таких структур отличается наибольшей простотой и наглядностью. Однако не всегда удается условие работоспособности представить в виде простой параллельно-последовательной структуры. В таких случаях используют или логические функции, или графы и ветвящиеся структуры, по которым оставляются системы уравнений работоспособности.

На основе структурной схемы надежности составляется набор расчетных формул. Для типовых случаев расчета используются формулы, приведенные в справочниках по расчетам надежности, стандартах и методических указаниях. Прежде чем применять эти формулы, необходимо предварительно изучить их существо и область использования.

Рис. 4. Алгоритм расчета надежности

2. Расчет надежности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур

Пусть некоторая техническая система ***D*** составлена из ***N*** элементов (узлов). Допустим, надежности элементов нам известны. Возникает вопрос об определении надежности системы. Она зависит от того, каким образом элементы объединены в систему, какова функция каждого из них и в какой мере исправная работа каждого элемента необходима для работы системы в целом.

Параллельно-последовательная структура надежности сложного изделия дает представление о связи между надежностью изделия и надежностью его элементов. Расчет надежности ведется последовательно — начиная от расчета

элементарных узлов структуры к ее все более сложным узлам. Например, в структуре (рис. 4.5.3, а[6]) узел, состоящий из элементов 1—2 — элементарный узел, состоящий из элементов 1—2—3—4 — сложный. Эта структура может быть сведена к эквивалентной, состоящей из элементов 1—2—3—4 и элемента 5, соединенных последовательно. Расчет надежности в данном случае сводится к расчету отдельных участков схемы, состоящих из параллельно и последовательно соединенных элементов.

3. Система с последовательным соединением элементов

Самым простым случаем в расчетном смысле является последовательное соединение элементов системы. В такой системе отказ любого элемента равносилен отказу системы в целом. По аналогии с цепочкой последовательно соединенных проводников, обрыв каждого из которых равносилен размыканию всей цепи, мы и называем такое соединение «последовательным» Следует пояснить что «последовательным» такое соединение элементов является только в смысле надежности, физически они могут быть соединены как угодно.

С позиции надежности такое соединение означает, что отказ устройства, состоящего из этих элементов, происходит при отказе элемента 1, или элемента 2, или элемента 3, или элемента *n*. Условие работоспособности можно сформулировать следующим образом: устройство работоспособно, если работоспособен элемент 1, и элемент 2, и элемент 3, и элемент *n*.

Пример. Система состоит из 10 независимых элементов, надежность каждого из которых равна P =0,95. Определить надежность системы.

По формуле $P=P^n$

то есть $P = 0{,}95^{10} = 0{,}6$.

Из примера видно, как резко падает надежность системы при увеличении в ней числа элементов. Если число элементов n велико, то для обеспечения хотя бы приемлемой надежности P системы каждый элемент должен обладать очень высокой надежностью.

4. Система с параллельным соединением элементов

На рис. 5. представлено параллельное соединение элементов 1, 2, 3. Это означает, что устройство, состоящее из этих элементов, переходит в состояние отказа после отказа всех элементов при условии, что все элементы системы находятся под нагрузкой, а отказы элементов статистически независимы.

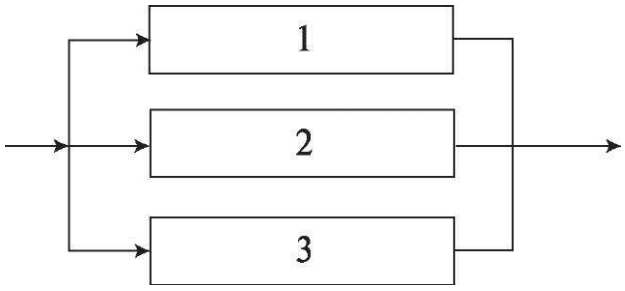


Рис.5. Блок-схема системы с параллельным соединением элементов

Условие работоспособности устройства можно сформулировать следующим образом: устройство работоспособно, если работоспособен элемент 1, или элемент 2, или элемент 3, или элементы 1 и 2, 1 и 3, 2 и 3, 1 и 2 и 3.

Вероятность безотказного состояния устройства, состоящего из n параллельно соединенных элементов определяется по теореме сложения вероятностей совместных случайных событий.

Пример. Предохранительное устройство, обеспечивающее безопасность работы системы под давлением, состоит из трех дублирующих друг друга клапанов. Надежность каждого из них $p = 0{,}9$. Клапаны независимы в смысле надежности. Найти надежность устройства.

Решение. $P = 1 - (1 - 0{,}9)^3 = 0{,}999$.

6. Способы преобразования сложных структур

Относительная простота расчетов надежности, основанных на использовании параллельно-последовательных структур, делают их самыми распространенными в инженерной практике. Однако не всегда условие работоспособности можно непосредственно представить параллельно-последовательной структурой. В этом случае можно сложную структуру заменить ее эквивалентной параллельно-последовательной структурой. К таким преобразованиям относятся:

— преобразование с эквивалентной заменой треугольника на звезду и обратно;

— разложение сложной структуры по базовому элементу.

Существо способа преобразования с помощью эквивалентной замены треугольника на звезду и обратно заключается в том, что узел сложной конфигурации заменяется на узел другой, более простой конфигурации, но при этом подбираются такие характеристики нового узла, что надежности преобразуемой цепи сохранялись прежними.

Способ преобразования с помощью разложения сложной структуры по некоторому базовому элементу основан на использовании теоремы о сумме вероятностей несовместных событий. В сложной структуре выбирают базовый элемент (или группу базовых элементов) и делаются следующие допущения:

— базовый элемент находится в работоспособном состоянии;

— базовый элемент находится в отказавшем состоянии.

Для этих случаев, представляющих собой два несовместных события, исходная структура преобразовывается в две новые схемы. В первой из них вместо базового элемента ставится «короткое замыкание» цепи, а во второй — разрыв. Вероятности безотказной работы каждой из полученных простых структур вычисляются и умножаются: первая — на вероятность безотказного состояния базового элемента, вторая — на вероятность отказа базового элемента. Полученные произведения складываются. Сумма равна искомой вероятности безотказной работы сложной структуры.

Тема №7. Методика исследования надежности технических систем.

Учебные вопросы:

1. Системный подход к анализу возможных отказов: понятие, назначение, цели и этапы, порядок, границы исследования.
2. Выявление основных опасностей на ранних стадиях проектировании.
3. Исследования в предпусковой период.
4. Исследования действующих систем.
5. Регистрация результатов исследования.
6. Содержание информационного отчета по безопасности процесса.

Учебные цели занятия:

1. Изучить методику исследования надежности технических систем.
2. Ознакомить студентов с вопросами, которые должны быть отражены в информационном отчете по безопасности процесса.

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1. Системный подход к анализу возможных отказов: понятие, назначение, цели и этапы, порядок, границы исследования

С позиций безопасности системный подход к анализу возможных отказов состоит в том, чтобы увидеть, как части системы функционируют во взаимодействии с другими ее частями.

Системный анализ — методология исследования любых объектов посредством представления их в качестве отдельных элементов и анализа этих элементов; применяется для:

— выявления и четкого формулирования проблемы в условиях неопределенности;

— выбора стратегии исследования и разработок;

— точного определения систем (границ, входов, выходов, связей), выявления целей развития и функционирования системы;

— выявление функций и состава вновь создаваемой системы.

Системы являются сложными, многоуровневыми и многокомпонентными образованиями. В целях адекватной информации и определения причинных связей элементы системы конкретизируются. Такой подход позволяет однозначно определить опасности и опасные состояния системы. Он обеспечивается декомпозицией систем — расчленением иерархии и организации системы на взаимосвязанные составные части (подсистемы, элементы), последующим исследованием их независимо друг от друга и координацией локальных решений. Этот метод представляет, по существу, разложение сложных систем на простые с применением теорем об условных вероятностях и условных распределениях. Эффективность метода зависит от выбора ведущего элемента, т.е. элемента, используемого при декомпозиции системы. Если этот элемент выбран неудачно, то, несмотря на идентичность конечного результата, вычисления окажутся значительно более громоздкими. В

случае сравнительно сложных систем правильный выбор главных элементов для создания простой конфигурации может оказаться сложной задачей Трудности, возникающие при рассмотрении сложных систем, можно уменьшить, используя метод преобразования. Подобная процедура выполняется до тех пор, пока вся система не будет сведена к одно- му-двум элементам. При этом обычно делается допущение о независимости отказов. Основное преимущество данного метода заключается в его простоте и доступности, однако он не приемлем при наличии постепенных отказов.

Анализом возможных отказов системы или ее элементов называют оценку влияния возможных отказов элементов следующего уровня структуры на выходные характеристики исследуемого объекта и определение перечня возможных отказов. Возможным отказом системы называется состояние, в которое может перейти система за время эксплуатации при возникновении отказов входящих в него элементов следующего уровня структуры. Совокупность возможных отказов называют перечнем возможных отказов.

Анализ возможных отказов проводят с целью выявления возможных причин их возникновения, оценки вероятности возникновения, времени возникновения, выбора методов обнаружения и регистрации, определения последствий отдельных видов отказов и разработки предупредительных, контрольных и защитных мероприятий по обеспечению надежности и безо- пасности на стадиях эксплуатации и проектирования систем.

Анализ возможных отказов предусматривает следующие этапы:

— анализ процесса эксплуатации системы и составление перечня периодов эксплуатации;

— задание границ рассмотрения системы;

— рассмотрение взаимодействия и взаимовлияния составных частей (элементов) системы;

— назначение контролируемых параметров и систем контроля;

— определение характерных признаков отказов и их симптомов;

— составление перечня возможных отказов для каждого периода эксплуатации;

— оценку вероятностных и временных характеристик каждого вида отказов из перечня возможных отказов;

— анализ критичности отказов и ранжирование отказов по важности;

— определение возможных последствий отказов, возможности их обнаружения и устранения (или уменьшения степени опасности).

Составление перечня возможных отказов. Он должен обладать достаточ- ной полнотой, определяемой наличием наиболее вероятных и критичных (приводящих к наиболее тяжелым последствиям) отказов, но не может быть избыточным из-за включения в него зависимых отказов. Отказы, возникающие по одной и той же причине, могут быть объединены.

При составлении перечня анализируют также ограничения на условия применения изделия, нарушения которых рассматривают как возможные отказы. Далее уточняют перечень при проведении анализа причин, оценке

вероятностей возникновения, возможностей обнаружения отказов и их последствий. Перечни возможных отказов и их причин оформляются в виде отчетов.

Методические основы задания границ системы *при анализе опасных состояний и отказов состоят в следующем*. Только главные, наиболее вероятные или критические события должны рассматриваться на начальной стадии анализа. Для определения этих событий можно использовать анализ критичности. По мере продвижения исследовательской работы (экспертизы) можно включать все более редкие или менее вероятные события или предпочесть не принимать их в расчет.

В принципе окружающие условия — это весь мир, в котором находится данная система. Таким образом, чтобы не отклоняться от намеченной цели, необходимо установить разумные пределы влияния окружающей среды при проведении исследования с помощью дерева событий или отказов, поскольку эти два подхода предусматривают детальную разработку процесса развития начальных аварийных событий в системе и окружающей ее среде.

При определении границ системы требуется тщательно установить начальные состояния элементов. Все элементы, которые имеют более одного рабочего состояния, создают различные начальные условия. Необходимо также точно установить рабочий отрезок времени**:** например, условия при пуске и остановке могут создавать другого рода опасные условия, отличающиеся от установившихся режимов работы.

Когда достаточное количество информации по системе собрано, можно составить описания вариантов развития процесса (сценариев) и определить конечные события. Затем устанавливают причинные взаимосвязи**,** ведущие к каждому конечному событию, например при помощи дерева отказа.

Обычно система изображается в виде блок-схемы, показывающей все функциональные (или причинные) взаимосвязи и элементы. При ее построении исключительно важную роль приобретает *правильное задание* граничных условий, которые не следует путать с физическими границами *системы*.

Одним из основных требований**,** предъявляемых к граничным условиям, является задание завершающего (головного) нежелательного события, установление которого требует особой тщательности, поскольку именно для него как для основного отказа выполняется анализ. Кроме того, чтобы проводимый анализ был понятен всем заинтересованным лицам, исследователь обязан составить перечень всех допущений**,** принимаемых при определении системы и построении порядка исследования.

Обычно для каждой системы строят несколько маршрутов развития завершающего (опасного) события. Впоследствии они могут быть и связаны, но на этапе анализа с ними работают отдельно. Аналогично, если система функционирует в различных режимах, то может понадобиться анализ развития опасных состояний для каждого из режимов.

Работа в подготовительный период. Объем подготовительной работы определяется сложностью системы. Работа состоит из четырех основных этапов:

— получение данных;
— обработка данных;
— планирование последовательности проведения исследований;
— организация обсуждений

Как правило, данные включают различные чертежи и схемы (линейные схемы, карты технологического процесса, схемы размещения производственного оборудования и пр.), эксплуатационные инструкции, схемы последовательного контроля за работой приборов, логические схемы, программы для ЭВМ, иногда даже инструкции изготовителей и поставщиков по правилам эксплуатации оборудования.

Эти данные должны быть проверены для того, чтобы удостовериться в их пригодности для исследования и выявить в них все противоречия и неточности. Объем работы, необходимой для обработки данных и планирования последовательности проведения исследований, зависит от типа системы.

Руководитель группы разрабатывает план проведения исследования и обсуждает как метод, так и план исследования с членами группы до начала работы по выявлению опасностей

2. Выявление основных опасностей на ранних стадиях проектировании

Желательно выявлять опасности крупных аварий, включая возможности взаимодействия между установками, которые могут иметь катастрофические последствия, на самой ранней стадии разработки проекта, что позволяет значительно облегчить дальнейшие исследования опасности и эксплуатационной пригодности на последующих стадиях проекта.

Главным требованием является выявление основных опасностей, которое может быть осуществлено после установления определенных общих параметров:

1. Материалы — сырье, исходные материалы, промежуточные материалы, продукция (продукты реакции), исходящие потоки газа или жидкости.
2. Производственные операции (технологический процесс).
3. Местоположение проектируемой системы — размещение между производственными операциями, пространственные соотношения с другими системами.

Эти общие параметры должны затем рассматриваться поочередно в процессе использования контрольных перечней потенциальных опасностей.

Проверки с целью выявления значимых опасностей следует проводить при наличии достаточного количества времени для внесения принципиальных

изменений в концепцию проекта. При проведении более детального исследования опасности и эксплуатационной готовности на более поздней стадии следует выявлять только менее значительные опасности, не требующие серьезных изменений методов работы для их устранения.

3. Исследования в предпусковой период

Проведение такого исследования целесообразно при следующих условиях, когда:

1) на очень поздней стадии проектирования произошло существенное изменение в назначении устройства;
2) инструкции по эксплуатации очень рискованные;
3) новая установка является копией существующей системы, в которую внесены изменения, касающиеся в основном технологического процесса, а не самой конструкции.

Необходимо убедиться в том, что схемы и технологические карты точно описывают построенную установку.

4. Исследования действующих систем

В то время как основное внимание уделяется новым системам, не следует упускать из виду потенциальную опасность установок, находящихся в эксплуатации.

Эти производственные системы могли находиться в непрерывной эксплуатации в течение многих лет, подвергаясь переделкам и модификациям в течение этого периода. Даже если такие модификации проводились очень тщательно, они могли привести к снижению запаса прочности или нарушению требований безопасности, предусмотренных первоначальным проектом.

Поскольку возможности и методы ограничены, поэтому при отборе установок к исследованию рекомендуется учитывать следующие факторы:

1. Проверка технической безопасности показала, что желательно провести более детальное исследование.
2. При обслуживании этих систем имели место опасные происшествия или несчастные случаи.
3. Эксплуатация показала, что данная система обладает высоким потенциалом опасности.
4. Система будет находиться в эксплуатации в течение долгого времени.
5. Система подвергалась значительным изменениям.
6. Удобно проводить обследование данной системы последовательно, совместно с другими взаимодействующими установками.

При организации исследования на существующей системе необходимо предусмотреть дополнительное время на проведение подготовительной работы,

так как часто обнаруживается, что технологические схемы и инструкции по эксплуатации устарели.

На стадии модификации требуется большая осторожность, чем обычно. Группа (бригада) разрабатывает рекомендации, предусматривающие возможность значительных изменений системы. Очень важно определить, кто будет нести ответственность за выполнение этих рекомендаций. Необходимо также установить эффективную форму контроля и оценки результатов.

5. Регистрация результатов исследования

Регистрация результатов исследования является важным аспектом работы исследовательской группы. Полезной формой регистрации является «Файл (картотека, архив) опасности». Он содержит копии:

— документов (карту технологического процесса, инструкции по эксплуатации, гистограммы, модели и т. д.), используемые при проведении совещаний экспертов с визой руководителя группы исследования о проведенной проверке;

— всех рабочих докладов, вопросов, рекомендаций, повторных проектов и перепланировок и т. д., явившихся результатом работы группы.

В файлы по безопасности могут вноситься изменения в случае:

— серьезных изменений в производственных технических системах или производственном процессе;

— появления новой информации об опасных веществах;

— значительных достижений в области техники безопасности.

Окончательные результаты исследования оформляются отчетом, который следует хранить на предприятии. Он является источником информации для экспертов при анализе опасностей

6. Содержание информационного отчета по безопасности процесса

В содержании информационного отчета по безопасности процесса необходимо включить:

— описание промышленной системы;
— описание производственных процессов;
— описание опасных веществ;
— предварительный анализ опасностей;
— описание элементов системы безопасности;
— оценку возможности развития опасностей;
— организационные мероприятия, использующиеся для обеспечения безопасной работы технической системы и в целом предприятия;
— оценку последствий крупных производственных аварий;
— планирование мер смягчения последствий аварий.

Тема №8. Системный подход к анализу надежности и техногенного риска.

Учебные вопросы:

1. Понятие системного анализа.
2. Система «человек-машина-среда» (ЧМС). Компоненты, иерархия и жизненные циклы системы «человек- машина-среда».
3. Система управления опасностями (СУО).
4. Алгоритм функционирования СУО.

Учебные цели занятия:

1. Ознакомить обучаемых с системой «человек-машина-среда».
2. Изучить компоненты, иерархию и жизненные циклы системы «человек-машина-среда».

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1. Понятие системного анализа.

Системный анализ — совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам, в частности, безопасности. Методологически в системном анализе переплетаются элементы вышеперечисленных методов.

Цель системного анализа безопасности состоит в том, чтобы выявить причины, влияющие на появление нежелательных событий (аварий, катастроф, травм и т. п.), и разработать мероприятия, уменьшающие вероятность их появления (снижающие риск нежелательного события).

Опасности проявляются при определенных условиях, которые мы называем причинами. Причины опасностей можно определить и как совокупность условий, отсутствие которых исключает действие опасности на человека. Знать причины не менее важно, чем опасности.

Проблема причинности имеет фундаментальное значение в системе мероприятий по охране труда. Установление истинных причин — основа предупреждения неблагоприятных последствий опасностей — травм, заболеваний, материальных потерь.

2. Система «человек-машина-среда» . Компоненты, иерархия и жизненные циклы системы «человек- машина-среда»

Объектом системного анализа опасностей является система «человек — машина — окружающая среда (ЧМС)», в которой в единый комплекс, предназначенный для выполнения определенных функций, объединены технические объекты, люди и окружающая среда, взаимодействующие друг с другом. Основными компонентами такой системы являются человек, машина, среда, а сложные процессы, происходящие между основными компонентами, нуждаются в управлении.

Из принципа иерархичности управления следует, что система ЧМС является многоуровневой, а при переходе от одного уровня к другому

компоненты системы ЧМС должны претерпевать изменения. Иерархия делит людей как бы на «человека», который формулирует задачу, организует, управляет, и «человека», который совместно с техникой образует компонент «машина», непосредственно осуществляющий замысел. Иначе говоря, человек системы ЧМС более высокого уровня (рис. 6.) рассматривает людей и технику системы ЧМС более низкого уровня как единый компонент — своеобразную человеко-машину, предназначенную для выполнения определенных функций.

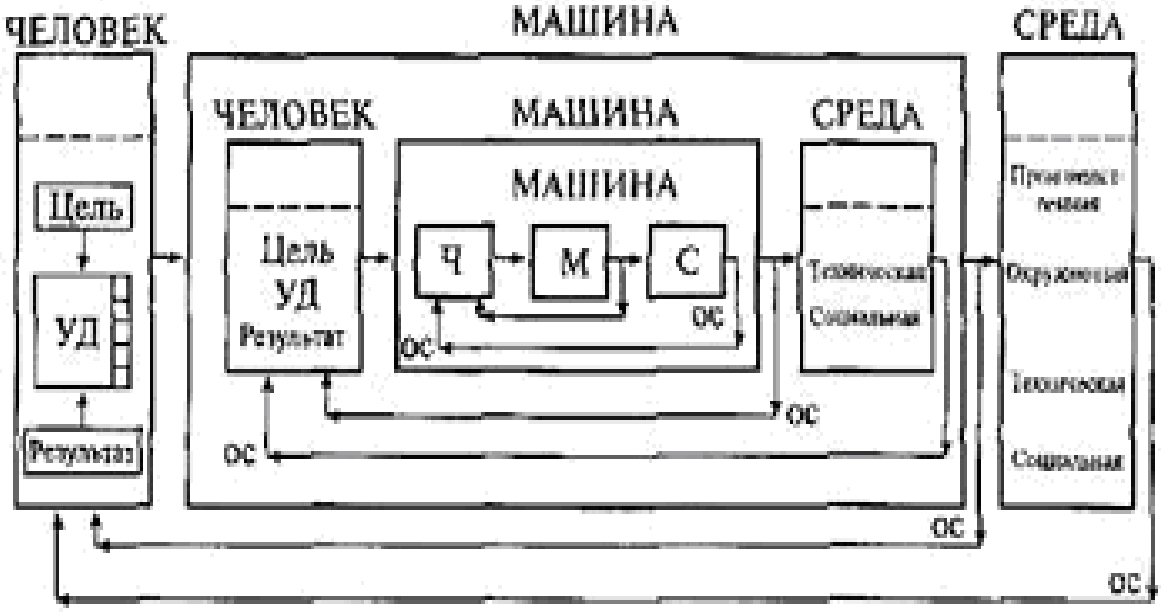


Рис.6. Схематичное изображение системы ЧМС:
Ч-человек; М-машина; С- среда; ОС-обратная связь; УД управляющие действия.

В компонент «среда» в общем случае могут входить люди, не входящие в подсистему «человек — машина», с искусственной средой их жизнедеятельности, производственная среда (техническая, социальная и т. д.), окружающая среда (например, часть «чистой» природы — естественной среды обитания человека).

Кроме уровней и компонентов, в системе ЧМС целесообразно выделить отдельные стадии жизненного цикла. Для простоты можно ограничиться следующими из них:

- стадия проектирования, когда определяются задачи, формируются требования, рассчитываются параметры, разрабатываются чертежи;
- стадия создания, когда в процессе изготовления или производства концепция и конструкция начинают воплощаться в жизнь;
- стадия эксплуатации, когда система ЧМС осуществляет возложенные, на нее рабочие функции и затем ликвидируется.

Таким образом, с точки зрения анализа и управления опасностями необходимо рассматривать и анализировать структурные элементы системы ЧМС, показанные на рис. 7.

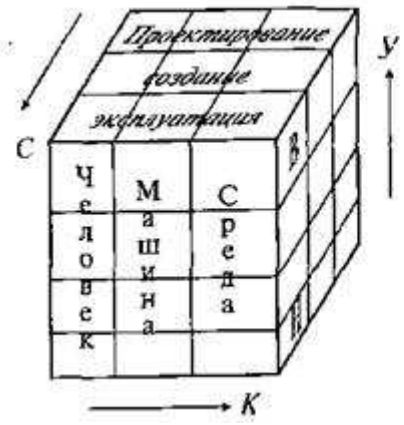


Рис. 7. Структурные элементы системы ЧМС. Обозначения: У – уровни;
В - высший;
С – стадии жизненного цикла;
К – компоненты.

Взаимодействие компонентов, входящих в систему ЧМС, может быть штатным и нештатным. Нештатное взаимодействие может выражаться в виде ЧП — нежелательных, незапланированных, непреднамеренных событий, нарушающих обычный ход вещей и происходящих в относительно короткий отрезок времени. Катастрофы, аварии, несчастные случаи будем называть ЧП-несчастьями или, сокращенно, н-чепе. Отказы и инциденты обычно предшествуют н-чепе, но могут иметь и самостоятельное значение. Анализ опасностей делает предсказуемыми перечисленные выше ЧП и, следовательно, их можно предотвратить соответствующими мерами. К главным моментам анализа опасностей относится поиск ответов на следующие вопросы. Какие объекты являются опасными? Какие чепе можно предотвратить? Какае чепе нельзя устранить полностью и как часто они будут иметь место? Какие неустранимые чепе повреждения могут нанести людям?

3.Система управления опасностями

Поиск причин ЧП в конечном счете приводит к анализу системы управления опасностями. На разных стадиях жизненного цикла системы ЧМС функциональные модели системы управления опасностями (СУО) могут состоять из разных элементов, при этом обязательным является наличие информационной системы, обратных связей и алгоритма функционирования. Наиболее сложной является функциональная модель СУО на стадии эксплуатации системы ЧМС (рис. 8.).

На рис. 8. компонент «человек», выбирая цель, создает управляющие действия, которые оказывают влияние на компоненты «машина» и «среда». Результат этих действий анализируется информационной системой управления опасностями, которая производит отбор и обработку информации, а также предлагает варианты возможных решений при обнаружении отклонений в работе системы. В качестве управляющего действия рассматривается также программа управления опасностями (ПУО), которая включает такие составляющие, как политику, проводимую менеджментом в сфере безопасности; технические требования (например, стандарты), заложенные в ПУО; организационные и информационные моменты, а также наличие ресурсов

для выполнения задач, поставленных ПУО. Кроме этого, программа включает системы профилактики — готовности, реагирования и восстановления.

Наличие обратных связей и информационной системы позволяет осуществлять сбор данных по отклонениям, отказам, ЧП и т. д., проводить анализ опасностей и их ранжирование, сравнивать результаты Функционирования системы ЧМС с программой управления опасностями, принимать решения и выбирать и осуществлять управляющие Действия. В производственной системе ЧМС информационные Функции, в частности, выполняют: рапорты инспекторов, акты расследования ЧП, протоколы аттестации рабочих мест, инструкции по безопасности и т. д. За счет обратных связей обеспечивается устойчивость функционирования СУО и ее развитие при наличии положительных обратных связей.

Рис. 8. Структурные элементы системы управления опасностями на стадии эксплуатации

4.Алгоритм функционирования СУО

Как сказано выше, система управления опасностями в общем случае работает в разных режимах и ее важным элементом является алгоритм функционирования, который вместе с некоторыми компонентами СУО можно представить так, как показано на рис. 9. Режим работы СУО зависит от типов ЧП, происходящих в системе ЧМС. При режимных ЧП система ЧМС функционирует штатно и работа СУО не выходит за рамки режима профилактики и готовности (см. рис. 9.).

При проектных и запроектных ЧП система ЧМС функционирует за пределами штатного режима; СУО работает в режиме реагирования и восстановления, при этом, если имеют место проектные ЧП, то исполняются некоторые элементы режима реагирования и режима восстановления (см. рис. 9.), а при запроектных ЧП — практически все элементы, заложенные в эти подсистемы, и, в частности, необходимый комплекс восстановительных работ.

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

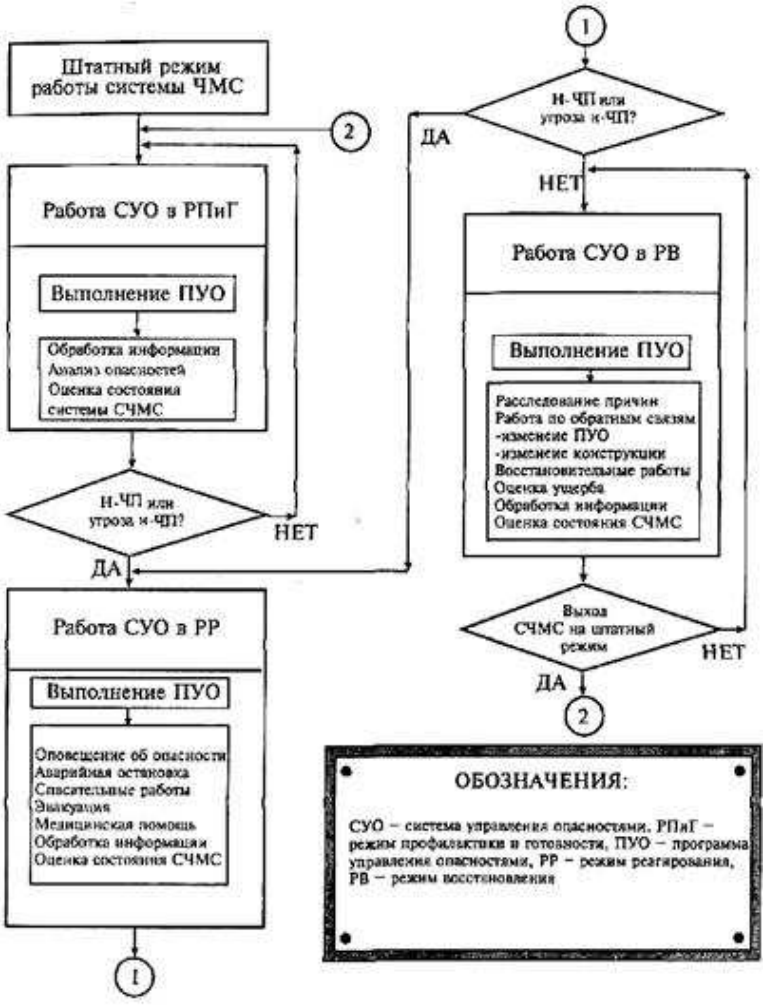


Рис.9. Алгоритм функционирования системы управления опасностями

Тема № 9. Техногенный риск и его анализ

Учебные вопросы:

1. Основные положения теории риска. Понятие техногенного риска.
2. Приемлемый (допустимый) риск.
3. Развитие риска на промышленных объектах.
4. Основы методологии анализа и управления риском:

4.1.Анализ и оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.

4.2. Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.

Учебные цели занятия:

1. Изучить основные положения теории риска.
2. Изучить основы методологии анализа и управления риском.

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1. Основные положения теории риска

В научной литературе встречается весьма различная трактовка термина «риск», и в него иногда вкладываются отличающиеся друг от друга содержания. Например, риск в терминологии страхования используется для обозначения предмета страхования (промышленного предприятия или фирмы), страхового случая (наводнения, пожара, взрыва и пр.), страховой суммы (опасности в денежном выражении) или же, как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий. Экономисты и статисты, сталкивающиеся с этими вопросами, понимают риск как меру возможных последствий, которые проявятся в определенный момент в будущем. В психологическом словаре риск трактуется как действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состоянии) производства или окружающей человека среды. Приведенные определения подчеркивают как значение активной деятельности субъекта, так и объективные свойства окружающей среды. Общим во всех приведенных представлениях является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Заметим, что в соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

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, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск, фактически, есть мера опасности. Часто используют понятие «степень риска» (Level of risk), по сути не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет об измеряемой величине.

Все названные (или подобные) интерпретации термина «риск» используются в настоящее время при анализе опасностей и управлении безопасностью (риском) технологических процессов и производств в целом. Формирование опасных и чрезвычайных ситуаций — результат определенной совокупности факторов риска, порождаемых соответствующими источниками.

Применительно к проблеме безопасности жизнедеятельности таким событием может быть ухудшение здоровья или смерть человека, авария или катастрофа технической системы или устройства, загрязнения или разрушение экологической системы, гибель группы людей или возрастание смертности населения, материальный ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличение затрат на безопасность.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенной жертве — объекту риска. Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать индивидуальный, технический (техногенный), экологический, социальный и экономический риски. Каждый вид его обусловливают характерные источники и факторы риска, классификация и характеристика которого приведены в табл. 1.

Индивидуальный риск обусловлен вероятностью реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций.

Классификация и характеристика видов риска Таблица 1.

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

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

$$R_T = \Delta T(t)/\ T(f)$$

где: R_T — технический риск;

ΔT — число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах и объектах;

T — число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риск f.

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.

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей. По существу — это риск для группы или сообщества людей.

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

Использование рассматриваемых видов риска позволяет выполнять поиск оптимальных решений по обеспечению безопасности как на уровне предприятия, так и на макроуровнях в масштабах инфраструктур. Для этого необходимо выбирать значения приемлемого риска.

2.Приемлемый (допустимый) риск

Традиционный подход к обеспечению безопасности при эксплуатации технических систем и технологий базируется на концепции «абсолютной безопасности» — ALAPA (аббревиатура от «As Low As PracticabLe Achievab-Le»: «настолько низко, насколько это достижимо практически»). То есть внедрение всех мер защиты, которые практически осуществимы. Как показывает практика, такая концепция не адекватна 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.

Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции «приемлемого» (допустимого) риска. То есть если нельзя создать абсолютно безопасные технологии, обеспечить абсолютную безо-

пасность, то, очевидно, следует стремиться к достижению хотя бы такого уровня риска, с которым общество в данное время сможет смириться. 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.

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.

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

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.

3.Развитие риска на промышленных объектах

На процесс зарождения и развития риска оказывает свое влияние многообразие факторов и условий, характерных для промышленной системы. Между авариями в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонение от нормального хода процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят почву для нее. 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 аварии. Наконец, на последней фазе еще одно неожиданное событие — иногда совсем незначительное — играет роль толчка, после которого техническая система перестает подчиняться людям, и происходит катастрофа. Риск является неизбежным, сопутствующим фактором промышленной 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.

4.Основы методологии анализа и управления риском

4.1.Анализ и оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем

В США вместо термина «анализ риска» используют «анализ опасностей» (process hazard analysis), имеющий практически то же значение.

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 группировок, возможность компромиссных решений, экспертные оценки и т. д.

Многообразие видов производственной деятельности, специфика промышленных объектов, их принадлежность к самым различным отраслям отражает многоаспектность проблемы анализа риска.

Особенность анализа 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 обслуживающего персонала. Разумеется, что можно рассматривать и негативные воздействия на людей, и окружающую природную среду при безаварийном функционировании производства (за счет выбросов или утечки вредных или опасных веществ, неочищенных стоков и т. д.).

Результаты анализа риска имеют существенное значение для принятия обоснованных и рациональных решений при определении места размещения и проектировании производственных объектов, при транспортировании и хранении опасных веществ и материалов. В процессе анализа риска находят широкое применение формализованные процедуры и учет разнообразных ситуаций, с которыми может столкнуться управляющий персонал в процессе своей деятельности, особенно при возникновении чрезвычайной обстановки. Неопределенность, в условиях которой во многих случаях должны приниматься управленческие решения, накладывает отпечаток на методику, ход и конечные результаты анализа риска. Методы, используемые в процессе анализа, должны быть ориентированы прежде всего на выявление и оценку возможных потерь в случае аварии, стоимости обеспечения безопасности и преимуществ, получаемых при реализации того или иного проекта.

Анализ риска имеет ряд общих положений, независимо от конкретной методики анализа и специфики решаемых задач. Во-первых, общей является задача определения допустимого уровня риска, стандартов безопасности обслуживающего персонала, населения и защиты окружающей природной среды. Во-вторых, определение допустимого уровня риска происходит, как правило, в условиях недостаточной или непроверенной информации, особенно когда это касается новых технологических процессов или новой техники. В-третьих, в ходе анализа в значительной мере приходится решать вероятностные задачи, что может привести к существенным расхождениям в получаемых

результатах. В-четвертых, анализ риска нужно рассматривать как процесс решения многокритериальных задач, которые могут возникнуть как компромисс между сторонами, заинтересованными в определенных результатах анализа.

Анализ риска может быть определен как процесс решения сложной задачи, требующий рассмотрения широкого круга вопросов и 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 плохого может произойти? (Идентификация опасностей).
2. Как часто это может случаться? (Анализ частоты).
3. Какие могут быть последствия? (Анализ последствий).

Основной элемент анализа риска — идентификация опасности (обнаружение возможных нарушений), которые могут привести к негативным последствиям. Выраженный в наиболее общем виде процесс анализа риска может быть представлен как ряд последовательных событий:

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. Анализ риска проводится в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов для того, чтобы обеспечить вход в процесс управления риском, однако более точный выбор задач, средств и методов анализа риска обычно не регламентируется. В документах подчеркивается, что анализ опасности должен соответствовать сложности рассматриваемых процессов, наличию необходимых данных и квалификации специалистов, проводящих анализ. При этом более простые и понятные методы анализа следует предпочесть более сложным методам, не до конца ясным и методически необеспеченным. Поэтому на первом этапе необходимо:

— указать причины и проблемы, вызвавшие необходимость проведения риск-анализа;
— определить анализируемую систему и дать ее описание;
— подобрать соответствующую команду для проведения анализа;
— установить источники информации о безопасности системы;
— указать исходные данные и ограничения, обусловливающие пределы риск-анализа;
— четко определить цели риск-анализа и критерии приемлемого риска.

Следующий этап анализа риска — идентификация опасностей. Основная задача — выявление (на основе информации о данном объекте, результатов экспертизы и опыта работы подобных систем) и четкое описание всех присущих системе опасностей.

Существует целый ряд формальных методов выявления опасностей, о которых речь пойдет ниже. Здесь приводится предварительная оценка опасностей с целью выбора дальнейшего направления деятельности:

— 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 закончиться уже на этапе идентификации опасностей.

При необходимости после идентификации опасностей переходят к этапу оценки риска.

Оценка риска — процесс, используемый для определения величины (меры) риска анализируемой опасности для здоровья человека, материальных ценностей, окружающей природной среды и других ситуаций, связанных с реализацией опасности. Оценка риска — обязательная часть анализа. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний.

В англоязычной литературе употребляют термины «risk estimation», «risk assessment», «risk evaluation», зачастую имеющие разные значения, но переводимые как оценка риска.

Оценка риска — этап, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделения опасности с неприемлемым уровнем риска, этот шаг послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей. При этом и критерии приемлемого риска и результаты оценки риска могут быть выражены как качественно, так и количественно.

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

Существуют четыре разных подхода к оценке риска.

Первый — инженерный. Он опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности (ВАБ): построение и расчет так называемых деревьев событий и деревьев отказов — процесс основан на ориентированных графах. С помощью первых предсказывают, во что может развиться тот или иной отказ техники, а деревья отказов, наоборот, помогают проследить все причины, которые способны вызвать какое-то нежелательное явление. Когда деревья построены, рассчитывается вероятность реализации каждого из сценариев (каждой ветви), а затем — общая вероятность аварии на объекте.

Второй подход, модельный, — построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Эти модели могут описывать как последствия обычной работы предприятий, так и ущерб от аварий на них.

Первые два 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 последствия аварий определяют не вычислениями, а опросом опытных экспертов.

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

4.2. Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем

Управление риском (risk management) — это часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде.

Для процесса управления риском существует несколько названий как в нашей стране (обеспечение промышленной безопасности), так и за рубежом («safety management», «management of process hazards»), которые фактически являются синонимами.

Под этими терминами понимается совокупность мероприятий, направленных на снижение уровня технического риска, уменьшение потенциальных материальных потерь и других негативных последствий аварий. По сути дела, речь идет о предотвращении возникновения аварийных ситуаций на производстве и мерах по локализации негативных последствий в тех случаях, когда аварии произошли.

Особенностью этого направления является комплексность, включающая в себя различные аспекты — технические, организационно-управленческие, социально-экономические, медицинские, биологические и др.

Тема №10. Методы качественного анализа надежности и риска
Учебные вопросы:

1.Качественный анализ опасностей:
- — предварительный анализ опасностей - ПАО;
- — анализ последствий отказов - АПО;
- — анализ опасностей с использованием графов;
- — анализ опасностей деревом причин (АОДП) потенциального чепе;

— анализ опасностей методом потенциальных отклонений - АОМПО;
— анализ ошибок персонала – АОП;
— причинно-следственный анализ — ПСА.

2. Количественная оценка риска.

Учебные цели занятия:

1. Изучить методы качественного анализа надежности и риска.
2. Изучить методы количественного анализа надежности и риска.

Форма и время проведения занятия: лекция, 4 часа.

1.Качественный анализ опасностей

Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-ЧП, ЧП-инициаторы, последовательности развития событий, вероятности ЧП, величину риска, величину последствий, пути предотвращения ЧП и смягчения последствий.

На практике анализ опасностей начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуемой цели, предназначения объекта и его сложности. Установление логических связей необходимо для расчета вероятностей ЧП. Методы расчета вероятностей и статистический анализ являются составными частями количественного анализа опасностей. Когда удается оценить ущерб, то можно провести численный анализ риск. При анализе опасностей всегда принимают во внимание используемые материалы, рабочие параметры системы, наличие и состояние контрольно-измерительных средств. Исследование заканчивают предложениями по минимизации или предотвращению опасностей.

Качественные методы анализа опасностей включают:

— предварительный анализ опасностей;
— анализ последствий отказов;
— анализ опасностей с помощью дерева причин;
— анализ опасностей с помощью дерева последствий;
— анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
— анализ ошибок персонала;
— причинно-следственный анализ.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) обычно осуществляют в следующем порядке:

— изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, а также используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы; устанавливают их повреждающие свойства;

— устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;

— проверяют техническую документацию на ее соответствие законам, правилам, принципам и нормам стандартов безопасности;

— составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей (системы, подсистемы, компоненты), повреждающие факторы, потенциальные ЧП, выявленные недостатки.

При проведении ПАО особое внимание уделяют наличию взрывопожароопасных и токсичных веществ, выявлению компонентов объекта, в которых возможно их присутствие, потенциальным ЧП от неконтролируемых реакций и при превышении давления.

Анализ последствий отказов **(АПО)** — преимущественно качественный метод идентификации опасностей, основанный на системном подходе и имеющий характер прогноза. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта. АПО обычно осуществляют в следующем порядке:

— техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;

— для каждого компонента выявляют возможные отказы, используя, например, алгоритм;

— изучают потенциальные ЧП, которые может вызвать тот или иной отказ на исследуемом техническом объекте;

— результаты записывают в виде таблицы;

— отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предупредительные меры, включая конструкционные изменения.

Анализ последствий отказов может выявить необходимость применения других, более емких методов идентификации опасностей. Кроме того, в результате анализа отказов могут быть собраны и документально оформлены данные о частоте отказов, необходимые для количественной оценки уровня опасностей рассматриваемого технического объекта.

Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального ЧП (АОДП) обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбирают потенциальное ЧП (например, н-ЧП или какой-либо отказ, который может привести к н-ЧП). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к заданному ЧП (системы, подсистемы, события, связи и т. д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина (корень) этого графа занумерована потенциальным ЧП. Поэтому граф является деревом. В нашем случае дерево состоит из всех тех причин-событий, которые делают возможным заданное ЧП. При построении дерева можно использовать символы. Проведение АОДП возможно только после детального изучения рабочих функций всех компонентов рассматриваемой технической системы. На работу системы оказывает влияние человеческий фактор, например возможность совершения оператором ошибки. Поэтому желательно все потенциальные инциденты — «отказы операторов» — вводить в содержание дерева причин. Дерево отражает статический характер событий. Построением нескольких деревьев можно отразить их динамику, т. е. развитие событий во времени.

Метод потенциальных отклонений (МПО) — процедура искусственного создания отклонений с помощью ключевых слов. Этим методом анализируют опасности герметичных процессов и систем. Наибольшее распространение он получил в химической промышленности. АОМПО обычно предшествует ПАО.

После того как с помощью ПАО были установлены источники опасностей (системы, ЧП), необходимо выявить те отклонения, которые могут привести к этим ЧП. Для этого разбивают технологический процесс или герметичную систему на составные части и, создавая с помощью ключевых слов отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике. Для проведения анализа необходимо иметь: проектную документацию на стадии проектирования; алгоритм анализа, который позволяет исследовать один за другим все компоненты; набор ключевых слов, с помощью которых выявляют ненормальный режим работы компонента.

Анализ ошибок персонала (АОП) включает следующие этапы:

- выбор системы и вида работы;
- определение цели;
- идентификацию вида потенциальной ошибки; идентификацию последствий;
- идентификацию возможности исправления ошибки; идентификацию причины ошибки;
- выбор метода предотвращения ошибки;
- оценку вероятности ошибки;
- оценку вероятности исправления ошибки;
- расчет риска;
- выбор путей снижения риска.

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего ЧП. Тем не менее, ПСА является составной частью общего анализа опасностей. Он завершается прогнозом новых ЧП и составлением плана мероприятий по их предупреждению.

2.Количественная оценка риска

Риск в широком смысле слова — это подвергание воздействию вероятности экономического или финансового проигрыша, физического повреждения или причинения вреда в какой-либо форме из-за наличия неопределенности, связанной с желанием осуществить определенный вид действий.

Ниже рассмотрен анализ риска при техногенном воздействии. Следует различать риск при наличии источника опасности и риск при наличии источника, оказывающего вредное воздействие на здоровье. Как определено выше, источник травмоопасности потенциально обладает повреждающими факторами, которые воздействуют на организм, собственность или окружающую среду в течение относительно короткого отрезка времени. Что

касается источника, характеризующегося вредными факторами, то принято считать, что он воздействует на объект в течение достаточно длительного времени.

Для оценки риска используют различные математические формулировки, выбор которых зависит от имеющейся информации.

Когда последствия неизвестны, то под риском обычно понимают просто вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий:

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

При необходимости можно использовать определение риска как вероятности превышения предела:

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

где ξ –случайная величина; x–некоторое значение.

Риск, связанный с техникой, обычно оценивают по формуле, включающей как вероятность ЧП, так и величину последствий U (обычно ущерб):

$$R = PU.$$

Если каждому i-му ЧП, происходящему с вероятностью P,i может быть поставлен в соответствие ущерб U_i то величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба U_*.

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

Если последствия измерять числом летальных исходов и известна вероятность P_N N летальных исходов, то риск

$$R = P_N N^q,$$

где q - положительное число. Если предположить, что одно ЧП с большим числом летальных исходов более нежелательно, чем такое же число отдельных летальных исходов, то в выражении число q должно быть больше единицы.

При угрозе собственности ущерб и риск чаще всего измеряют в денежном выражении. Однако если можно принять, что ущерб при авариях будет одним и тем же, то определение рисков и дальнейшее их сравнение можно проводить, пользуясь вероятностями. В частности, если ущерб трудно рассчитать, то за величину риска принимают вероятность превышения предела.

Тема № 11. Методы обеспечения надежности сложных систем

Учебные вопросы:

1.Конструктивные способы обеспечения надежности.

2. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе изготовления.

3.Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации.

4. Пути повышения надежности сложных технических систем при эксплуатации.

5. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности техники при эксплуатации..

Учебные цели занятия:

1.Изучить методы обеспечения надежности сложных систем.

Форма и время проведения занятия: лекция, 2 часа.

1. Конструктивные способы обеспечения надежности

На этапе разработки технической документации, являющейся комплектом чертежей, технических условий, методик и программ испытаний, выполнение научно- исследовательских расчетов, подготовки эксплуатационной документации и обеспечение надежности осуществляют способами рационального проектирования и расчетно- экспериментальными методами оценки надежности.

Важное место в обеспечении надежности системы занимает подбор металла, из которого конструируют силовые узлы металлоконструкций, так как от несущих конструкций зависит надежность и долговечность изделия. Для изделий, работающих в стационарных условиях, чаще всего используют обычные углеродистые стали, а для изделий, работающих в условиях переменных нагрузок с высокой интенсивностью, — высоколегированные. В зависимости от внешних воздействующих факторов и условий нагружения подбирают соответствующие материалы с определенными характеристиками.

Существуют несколько методов, с помощью которых можно повысить конструктивную надежность сложной технической системы. Конструктивные методы повышения надежности предусматривают создание запасов прочности металлоконструкций, облегчение режимов работы электроавтоматики, упрощение конструкции, использование стандартных деталей и узлов, обеспечение ремонтопригодности, обоснованное использование методов резервирования.

Наряду с конструктивными методами, обеспечивающими работоспособность системы, широко применяют вероятностные методы оценки ее надежности на этапах эскизного и рабочего проектирования. С целью определения количественных показателей надежности составляют функциональную схему и циклограмму работы системы во времени при ее эксплуатации. Более полному пониманию работы системы способствует принципиальная схема, в которой подробно описывают соединение узлов и

элементов, а также их назначение. На основании функциональной и принципиальной схем работы системы составляют структурную схему надежности с указанием резервирования отдельных элементов, узлов и каналов. На основании структурной схемы надежности составляют перечень элементов и узлов с указанием интенсивностей отказов, взятых из справочной литературы или полученных по результатам испытаний или эксплуатации. Далее на основании исходных данных выполняют расчет проектной надежности системы.

Анализ и прогнозирование надежности на стадии проектирования дает необходимые данные для оценки конструкции. Такой анализ проводят для каждого варианта конструкции, а также после внесения конструктивных изменений. При обнаружении конструктивных недостатков, снижающих уровень надежности системы, проводят конструктивные изменения и корректируют техническую документацию.

2. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе изготовления

Одним из основных мероприятий на стадии серийного производства, направленных на обеспечение надежности технических систем, является *стабильность технологических процессов.* Научно обоснованные методы управления качеством продукции позволяют своевременно давать заключение о качестве выпускаемых изделий. На предприятиях промышленности применяют два метода *статистического контроля качества:* текущий контроль технологического процесса и выборочный метод контроля.

Метод статистического контроля (регулирования) качества позволяет своевременно предупреждать брак в производстве и, таким образом, непосредственно вмешиваться в технологический процесс.

Выборочный метод контроля не оказывает непосредственного влияния на производство, так как он служит для контроля готовой продукции, позволяет выявить объем брака, причины его возникновения в технологическом процессе или же качественные недостатки материала.

Анализ точности и стабильности технологических процессов позволяет выявить и исключить факторы, отрицательно влияющие на качество изделия. В общем случае, контроль стабильности технологических процессов можно проводить следующими методами: графоаналитическим с нанесением на диаграмму значений измеряемых параметров; расчетно-статистическим для количественной характеристики точности и стабильности технологических процессов; а также прогнозирования надежности технологических процессов на основе количественных характеристик приведенных отклонений.

Расчетно-статистическим методом определяют коэффициент точности *(K_m)* и коэффициент смещения (K_c).

Коэффициент точности характеризует соотношение полей допуска исследуемого параметра (размера) и величиной рассеяния размеров деталей в партии. Его значение определяют по формуле

Кт = Т/ш, (10.)

где *Т* - допуск; ш - поле рассеяния контролируемого параметра в соответствующей выборке.

Коэффициент смещения характеризует относительную величину смещения центра рассеяния размеров от середины поля допуска

Кс = *(х* - Ло)/2, (11.)

где х - среднее арифметическое значение центра рассеяния; $Л_0$ - координата середины поля допуска.

Ло =*(Тн* + Тв)/2, (12.)

где $Т_н$ и $Т_в$ - нижнее и верхнее предельные отклонения параметра.

В случае, если коэффициент $К_т$ >1, то точность технологического процесса хорошая, если $К_т$ = 0,95<1, то точность удовлетворительная, при $К_т$ < 0,9…0,7, точность неудовлетворительная.

3.Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации

Надежность технических систем в условиях эксплуатации определяется рядом эксплуатационных факторов, таких как, квалификация обслуживающего персонала, качество и количество проводимых работ по техническому обслуживанию, наличие запасных частей, использование измерительной и проверочной аппаратуры, а также наличие технических описаний и инструкций по эксплуатации.

В процессе эксплуатации отказы системы принято подразделять на две основные категории — внезапные отказы и постепенные.

Внезапные отказы связаны с наличием в изделии скрытых производственных дефектов, причинами конструктивного характера, ошибками обслуживающего персонала.

Постепенные отказы системы обусловлены постепенными изменениями параметров. Такое изменение параметров в основном вызвано старением элементной базы системы.

В первом приближении можно принять, что все отказы, возникающие в процессе эксплуатации, являются *независимыми*. Поэтому надежность всей системы при предположении независимости отказов равна:

$$P = P_1 P_2 P_3, \quad (13.)$$

где P_1, P_2,, P_3 - вероятности безотказной работы системы соответственно по непрогнозируемым внезапным отказам, внезапным отказам, которые могут быть предотвращены при своевременном техническом обслуживании, и постепенным отказам.

Одной из причин отсутствия отказов элементов системы является качественное техническое обслуживание, которое направлено на предотвращение прогнозируемых внезапных отказов.

Замена элементов с возрастающей во времени интенсивностью отказов возможна во всех сложных технических системах. С целью уменьшения во времени интенсивности отказов вводят техническое обслуживание системы, которое позволяет обеспечить поток отказов у сложных систем с конечной интенсивностью в течение заданного срока эксплуатации, т.е. сделать близким к постоянному.

В процессе эксплуатации при техническом обслуживании интенсивность отказов системы, с одной стороны, имеет тенденцию к увеличению, а с другой стороны, - тенденцию к уменьшению в зависимости от того, на каком уровне проведено обслуживание. Если техническое обслуживание проведено качественно, то интенсивность отказав уменьшается, а если это обслуживание проведено плохо, то увеличивается.

Используя накопленный опыт, можно всегда выбрать тот или иной объем функционирования, который обеспечит нормальную работу системы до очередного технического обслуживания с заданной вероятностью безотказной работы. Или, наоборот, задаваясь последовательностью объемов функционирования, можно определить приемлемые сроки проведения технического обслуживания, обеспечивающего работу системы на заданном уровне надежности.

4. Пути повышения надежности сложных технических систем при эксплуатации

Для повышения надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации проводят ряд мероприятий, которые можно подразделить на следующие четыре группы:

1) разработку научных методов эксплуатации;
2) сбор, анализ и обобщение опыта эксплуатации;
3) связь проектирования с производством изделий машиностроения;
4) повышение квалификации обслуживающего персонала.

Научные методы эксплуатации включают в себя научно обоснованные методы подготовки изделия к работе, проведения технического обслуживания, ремонта и других мероприятий по повышению надежности сложных технических систем в процессе их эксплуатации. Порядок и технологию проведения этих мероприятий описывают в соответствующих руководствах и инструкциях по эксплуатации конкретных изделий. Более качественное выполнение эксплуатационных мероприятий по обеспечению надежности изделий машиностроения обеспечивается результатами статистического исследования надежности этих изделий. При эксплуатации изделий большую роль играет накопленный опыт. Значительную часть опыта эксплуатации используют для решения частных организационно-технических мероприятий. Однако накопленные данные необходимо использовать не только для решения задач сегодняшнего дня, но и для создания будущих изделий с высокой надежностью.

Большое значение имеет правильная организация сбора сведений об отказах. Содержание мероприятий по сбору таких сведений определяется типом изделий и особенностями эксплуатации этих изделий. Возможными источниками статистической информации могут быть сведения, полученные по результатам различных видов испытаний и эксплуатации, которые оформляются периодически в виде отчетов о техническом состоянии и надежности изделий.

Изучение особенностей их поведения дает возможность использовать накопленные данные для проектирования будущих изделий. Таким образом, сбор и обобщение данных об отказах изделий - одна из важнейших задач, на которую должно быть обращено особое внимание.

Эффективность эксплуатационных мероприятий во многом зависит от квалификации обслуживающего персонала. Однако влияние этого фактора неодинаково. Так, например, при выполнении в процессе обслуживания довольно простых операций влияние высокой квалификации работника сказывается мало, и наоборот, квалификация обслуживающего персонала играет большую роль при выполнении сложных операций, связанных с принятием субъективных решений (например, при регулировании клапанов и систем зажигания в автомобилях, при ремонте телевизора и т.д.).

5. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности техники при эксплуатации

Известно, что в процессе эксплуатации изделие определенное время используют по назначению для выполнения соответствующей работы, некоторое время она транспортируется и хранится, а часть времени идет на техническое обслуживание и ремонт. При этом для сложных технических систем в нормативно-технической документации устанавливают виды технических обслуживании (ТО-1, ТО-2,...) и ремонтов (текущий, средний или капитальный). На стадии эксплуатации изделий проявляются технико-экономические последствия низкой надежности, связанные с простоями техники и затратами на устранение отказов и приобретение запасных частей. С целью поддержания надежности изделий на заданном уровне в процессе эксплуатации необходимо проводить комплекс мероприятий, который может быть представлен в виде двух групп — мероприятия по соблюдению правил и режимов эксплуатации; мероприятия по восстановлению работоспособного состояния.

К первой группе мероприятий относятся обучение обслуживающего персонала, соблюдение требований эксплуатационной документации, последовательности и точности проводимых работ при техническом обслуживании, диагностический контроль параметров и наличие запасных частей, осуществление авторского надзора и т. п.

К основным мероприятиям второй группы относятся корректирование системы технического обслуживания, периодический контроль за состоянием изделия и определение средствами технического диагностирования

остаточного ресурса и предотказного состояния, внедрение современной технологии ремонта, анализ причин отказов и организация обратной связи с разработчиками и изготовителями изделий.

Многие изделия значительную часть времени эксплуатации находятся в состоянии хранения, т.е. не связаны с выполнением основных задач. Для изделий, работающих в таком режиме, преобладающая часть отказов связана с коррозией, а также воздействием пыли, грязи, температуры и влаги. Для изделий, находящихся значительную часть времени в эксплуатации, преобладающая часть отказов связана с износом, усталостью или механическим повреждением деталей и узлов. В состоянии простоя интенсивность отказов элементов существенно меньше, чем в рабочем состоянии. Так, например, для электромеханического оборудования это соотношение соответствует 1:10, для механических элементов это соотношение составляет 1:30, для электронных элементов 1:80.

Необходимо отметить, что с усложнением техники и расширением областей ее использования возрастает роль этапа эксплуатации техники в суммарных затратах на создание и использование технических систем. Затраты на поддержание в работоспособном состоянии за счет технических обслуживании и ремонтов превышают стоимость новых изделий в следующее число раз: тракторов и самолетов в 5-8 раз; металлорежущих станков в 8-15 раз; радиоэлектронной аппаратуры в 7-100 раз.

Техническая политика предприятий должна быть направлена на снижение объемов и сроков проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту техники за счет повышения надежности и долговечности основных узлов.

Консервация машины в состоянии поставки помогает сохранить ее работоспособность, как правило, в течение 3-5 лет. Для поддержания надежности машины в процессе эксплуатации на заданном уровне объем производства запасных частей должен составлять 25-30 % стоимости машин.

7.Материал для выполнения лабораторных занятий

(порядок выполнения работ указан в методических указаниях к соответствующим темам)

Тема№1. Математический аппарат анализа надежности и техногенного риска

Учебные цели занятия:

1. Изучить математический аппарат анализа надежности и техногенного риска.

Прогнозирование надежности по закону распределения Пуансона и по экспоненциальному закону распределения вероятности

Отказы в системах возникают под воздействием разнообразных факторов. Поскольку каждый фактор в свою очередь зависит от многих причин, то отказы элементов, входящих в состав системы, относятся, как правило, к случайным событиям, а время работы до возникновения отказов — к случайным величинам. В инженерной практике возможны и не случайные (детерминированные) отказы (отказы, возникновение которых происходит в определенный момент времени, т.е. в момент возникновения причины, так как существует однозначная и определенная связь между причиной отказа и моментом его возникновения). Например, если в цепи аппаратов ошибочно поставлен элемент, не способный работать при пиковой нагрузке, то всякий раз когда возникает эта нагрузка, он обязательно перейдет в отказовое состояние. Такие отказы выявляются и устраняются в процессе проверки технической документации и испытаний.

При анализе надежности объектом исследования являются случайные события и величины. В качестве теоретических распределений наработки до отказа могут быть использованы любые применяемые в теории вероятностей непрерывные распределения. В принципе можно взять любую кривую, площадь под которой равна единице, и использовать ее в качестве кривой распределения случайной величины. Поэтому, прежде чем приступить к инженерным методам расчета надежности и испытаний на надежность, следует рассмотреть закономерности, которым они подчиняются.

Случайное событие — событие (факт, явление), которое в результате опыта может произойти или не произойти. Случайные события (отказы, восстановления, заявки на обслуживание и др.) образуют случайные потоки и случайные процессы. Поток событий — последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то отрезки времени. Например, отказы восстанавливаемого устройства образуют поток событий (поток отказов). Под действием потока отказов и потока восстановлений техническое устройство может находиться в различных состояниях (полного отказа, частичного отказа, работоспособное). Переход изделия из одного состояния в другое представляет собой случайный процесс.

Случайная величина — величина, которая в результате опыта может принимать то или иное значение, причем неизвестно заранее какое именно. Случайная величина может быть дискретной (число отказов за время t, число отказавших элементов при наработке заданного объема и т. д.), либо непрерывной (время наработки элемента до отказа, время восстановления работоспособности).

Закон распределения случайной величины — соотношение, устанавливающее связь между значениями случайной величины и их вероятностями. Он может быть представлен формулой, таблицей, многоугольником распределений.

Для характеристики случайной величины (непрерывной и дискретной) используется вероятность того, что случайная величина X меньше некоторой текущей переменой x.

1.1. Распределение Пуассона играет особую роль в теории надежности, поскольку оно описывает закономерность появления случайных отказов в

сложных системах. Этот закон нашел широкое применение при определении вероятности появления и восстановления отказов.

Распределение Пуассона является *однопараметрическим* с параметром λ.

1.2. *Экспоненциальный закон распределения* называемый также основным законом надежности, часто используют для прогнозирования надежности в период нормальной эксплуатации изделий, когда *постепенные отказы* еще не проявились и надежность характеризуется *внезапными отказами.* Эти отказы вызываются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную *интенсивность.* Экспоненциальное распределение находит довольно широкое применение в теории массового обслуживания, описывает распределение наработки на отказ сложных изделий, время безотказной работы элементов радиоэлектронной аппаратуры.

Примеры неблагоприятного сочетания условий работы деталей машин, вызывающих их внезапный отказ: для зубчатой передачи это может быть действием максимальной нагрузки на наиболее слабый зуб при его зацеплении; для элементов радиоэлектронной аппаратуры — превышение допустимого тока или температурного режима.

Определение вероятности отказа по нормальному закону распределения (закону Гаусса)

Нормальный закон распределения часто называют законом Гаусса. Этот закон играет важную роль и наиболее часто используется на практике по сравнению с другими законами распределения.

Основная особенность этого закона состоит в том, что он является *предельным законом,* к которому приближаются другие законы распределения. В теории надежности его используют для описания постепенных отказов, когда распределение времени безотказной работы в начале имеет низкую плотность, затем максимальную и далее плотность снижается.

Распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие, примерно равнозначные факторы.

Тема №2. Использование математических зависимостей для оценки риска и надежности

Учебные цели занятия:

1.Использование математические зависимости для оценки риска и надежности

Функциональные зависимости надежности

Отказы, возникающие в процессе испытаний или эксплуатации, могут быть вызваны неблагоприятным сочетанием различных факторов — рассеянием действующих нагрузок, отклонением от номинального значения

механических характеристик материалов, неблагоприятным сочетанием допусков в местах сопряжения и т. п. Поэтому в расчетах надежности различные параметры рассматривают как случайные величины, которые могут принимать то или иное значение, неизвестное заранее.

Постоянную величину, к которой приближается относительная частота случайного события, называют *вероятностью случайного события A* и обозначают символом P(A). На практике при большом числе испытаний вероятность случайного события приближенно принимают равной относительной частоте этого события.

Математическим основанием этого утверждения является *закон больших чисел* (Я. Бернулли) - вероятность отклонения относительной частоты некоторого события *A* от вероятности P(A) этого события более чем на произвольно заданную величину $s > 0$ становится сколь угодно малой, если число испытаний *n* неограниченно возрастает.

Таким образом, вероятность события *P(A)* представляет собой число, заключенное в интервале от нуля до единицы, т. е. справедливо неравенство

$$0 < P(A) < 1. \qquad (14.)$$

Теорема сложения вероятностей

События могут быть совместными и несовместными. Два события называют *несовместными,* если в результате опыта они не могут появиться одновременно. И наоборот, события считаются *совместными,* если они появляются одновременно в результате такого опыта.

Вероятность суммы двух несовместных событий равна сумме вероятностей этих событий

$$P(A+B)=P(A)+P(B). \qquad (15.)$$

Метод полной индукции позволяет использовать теорему сложения для произвольного числа несовместных событий. Так, *вероятность суммы нескольких событий* равна сумме вероятностей этих событий

$$P(A\mathbf{1}+A\mathbf{2}+...+A_n)=P(A\ \mathbf{1})+P(A\mathbf{2})+...+P(A_n). \qquad (16.)$$

+ P(A2+B) - P(A1 + A2 +B).

Теорема умножения вероятностей

События могут быть независимыми и зависимыми.

Событие A называют *независимым* от события *B,* если вероятность события *A* не зависит от того, произошло событие *B* или нет.

Событие A называют *зависимым* от события *B,* если вероятность события *A* меняется в зависимости от того, произошло событие *B* или нет.

Понятие зависимости и независимости событий можно наглядно показать на следующих примерах.

Пример. Предположим, что опыт состоит в бросании двух монет, при этом рассматривают следующие события: событие *A* — появление герба на первой монете и событие *B* — появление герба на второй монете.

В этом случае вероятность события *A* не зависит от того, произошло событие *B* или нет, следовательно, событие *A* независимо от события *B*.

Пример. Пусть в урне имеется два белых и один черный шар. Два человека вынимают из урны по одному шару, при этом рассматриваются следующие события: событие *A* — появление белого шара у первого человека и событие *B* — появление белого шара у второго человека.

Вероятность события *A* до того, как станет известно что-либо о событии *B*, равна 2/3. Если стало известно, что событие *B* произошло, то вероятность события *A* становится равной 1/2, из чего заключаем, что событие *A* зависит от события *B*.

Вероятность события *A*, вычисленная при условии, что имело место другое событие *B*, называется *условной вероятностью события A* и обозначается *P(A/B)*.

Для условий примера P(A) = 2/3, *P(A/B)* = 1/2.

Теорема умножения вероятностей формулируется следующим образом.

Вероятность произведения двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную при условии, что первое имело место, т. е.

$$P(AB)=P(A)P(B/A). \qquad (17.)$$

Очевидно, что при применении теоремы умножения безразлично, какое из событий — *A* или *B* — считать первым, а какое вторым, и теорему можно записать так:

Два события называют *независимыми*, если появление одного из них не изменяет вероятности появления другого.

Понятие независимых событий может быть распространено на случай произвольного числа событий. *Несколько событий* называют *независимыми*, если любое из них не зависит от любой совокупности остальных.

Вероятность произведения двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий. Теорема умножения вероятностей может быть обобщена на случай произвольного числа событий. В общем виде она формулируется так.

Вероятность произведения нескольких событий равна произведению вероятностей этих событий.

Тема № 3.Расчет показателей надежности технических систем с последовательным соединением элементов

Учебные цели занятия:

1. Рассчитать показатели надежности технических систем с последовательным соединением элементов

Имеются структурные схемы надежности системы с последовательным соединением элементов, когда отказ одного элемента вызывает отказ другого

элемента, а затем третьего и т. д. Например, большинство приводов машин и механизмы передач подчиняются этому условию. Так, если в приводе машины выйдет из строя любая шестерня, подшипник, муфта, рычаг управления, электродвигатель, насос смазки, то весь привод перестанет функционировать. При этом отдельные элементы в этом приводе не обязательно должны быть соединены последовательно.

Такую структурную схему называют *схемой с последовательным соединением зависимых элементов.* В этом случае надежность системы определяют по теореме умножения для *зависимых событий.*

Известно, что отказ любого элемента такой системы приводят, как правило, к отказу системы. Поэтому вероятность безотказной работы системы определяют как произведение вероятностей для *независимых событий.*

Таким образом, надежность всей системы равна произведению надежностей подсистем или элементов:

$$P(A) = \prod_{i=1} P(A). \qquad (18.)$$

Обозначив $P(A) = P$; $P(A_I) = p_i$, получим

$$P = \prod_{i=1} P_i, \qquad (19.)$$

где P — надежность.

Сложные системы, состоящие из элементов высокой надежности, могут обладать низкой надежностью за счет наличия большого числа элементов. Например, если узел состоит всего из 50 деталей, а вероятность безотказной работы каждой детали за выбранный промежуток времени составляет P_i = 0, 99, то вероятность безотказной работы узла будет $P(t) = (0,99)^{50} = 0,55$.

Если же узел с аналогичной безотказностью элементов состоит из 400 деталей, то $P(i)$ = (0,99) = 0,018, т.е. узел становится практически неработоспособным.

Тема №4. Расчет показателей надежности технических систем с параллельным соединением элементов

Учебные цели занятия:

1.Рассчитать показатели надежности технических систем с параллельным соединением элементов

В практике проектирования сложных технических систем часто используют схемы с *параллельным соединением элементов* (рис. 4.), которые построены таким образом, что отказ системы возможен лишь в случае, когда отказывают все ее элементы, т.е. система исправна, если исправен хотя бы один ее элемент. Такое соединение часто называют *резервированием.* В большинстве случаев резервирование оправдывает себя, несмотря на увеличе-

ние стоимости. Наиболее выгодным *является резервирование отдельных элементов,* которые непосредственно влияют на выполнение основной работы. При конструировании технических систем в зависимости от выполняемой системой задачи применяют горячее или холодное резервирование.

Горячее резервирование применяют тогда, когда не допускается перерыв в работе на переключение отказавшего элемента на резервный с целью выполнения задачи в установленное время. Чаще всего горячему резервированию подвергают отдельные элементы. Используют горячее резервирование элементов и подсистем, например источников питания (аккумуляторные батареи дублируются генератором и т.п.).

Холодное резервирование используют в тех случаях, когда необходимо увеличение ресурса работы элемента, и поэтому предусматривают время на переключение отказавшего элемента на резервный.

Существуют технические системы с *частично параллельным резервированием,* т. е. системы, которые оказываются работоспособными даже

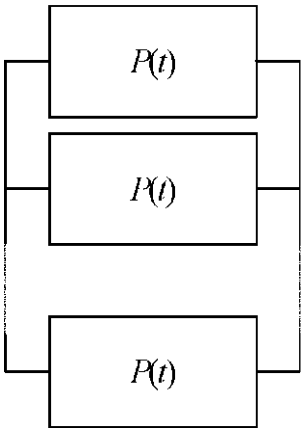


Рис. 4. Структурная схема надежности системы с параллельным соединением элементов

в случае отказа нескольких элементов.

Рассмотрим систему, имеющую ряд параллельных элементов с надежностью p(t) и соответственно ненадежностью q(t) = 1- p(t). В случае, если система содержит *n* элементов, которые соединены параллельно, вероятность отказа системы равна:

$$Q = [q(t)]^n, \qquad (20.)$$

а вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - [q(t)]^n. \qquad (21.)$$

При частично параллельном резервировании вероятность безотказной работы системы, состоящей из общего числа элементов n, определяют по формуле:

$$P(t) = \sum_{k=j} C_n^{\kappa} p^k(t) q^{n-k}(t), \qquad (22.)$$

где *p(t)* — вероятность безотказной работы одного элемента; *j* — число исправных элементов, при котором обеспечивается работоспособность системы; C_n^k = n!/[k!(n - k)!] - число сочетаний из *n* элементов по *k*.

В случае *j =1* система будет полностью параллельной, в остальных случаях - частично параллельной.

Тема №5. Расчет показателей надежности технических систем с параллельно-последовательным соединением элементов

Учебные цели занятия:

1.Рассчитать показатели надежности технических систем с параллельно-последовательным соединением элементов

В практике проектирования технических систем часто используют структурные схемы надежности с *параллельно-последовательным соединением* элементов. Так, например, часто при проектировании систем с радиоэлектронными элементами применяют схемы, работающие по принципу два из трех, когда работоспособность обеспечивается благодаря исправному состоянию любых двух элементов. Надежность такой схемы соединения определяют по формуле

$$P(T) = P^3(T) + 3P^2(T)Q(T). \qquad (23.)$$

где p(t) — надежность каждого элемента за время работы *t* одинакова; q(t)=1- p(t).

Широкое применение в проектировании нашли так называемые *мостиковые схемы*. Надежность такой схемы определяют из соотношения вида

$$P(i) = p^5(t) + 5p^4(t)\,q(t) + 8p^3(t)\,q^2(t) + 2p^2(t)\,q^3(t). \quad (24.)$$

Здесь все элементы также имеют одинаковую надежность.

Различают структурные схемы надежности с поканальным и поэлементным резервированием.

Структурная схема надежности с поканальным резервированием показана на рис. 5.

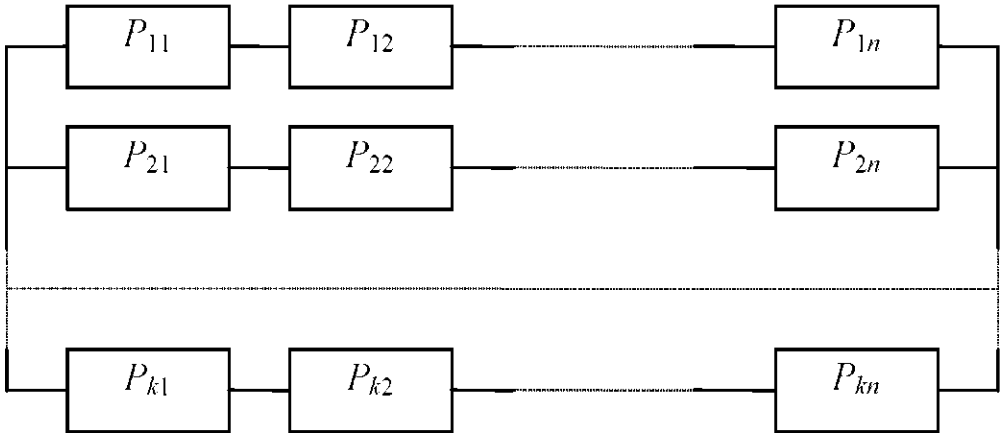


Рис. 5. Структурная схема надежности с поканальным резервированием

Формула надежности выглядит так:

P = [1-(1- p11 p12$^-$ p1n)(1-p21p22$^-$ p2п)(1-p p$^-$ pnk)] (25.)

При p_i j = pj

$$P = 1-(1-p1p2^- pn)^k \quad (26.)$$

Если p_i j = p, то

$$P = 1- (1 - p^n)^k \quad (27.)$$

В практике проектирования часто используют структурную схему надежности с поэлементным резервированием (рис. 6).

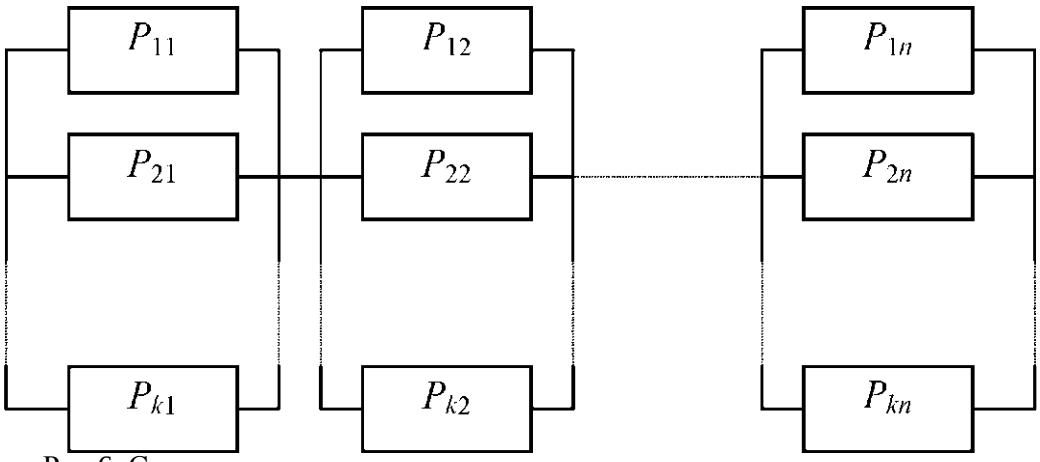


Рис.6. Структурная схема надежности с поэлементным резервированием

Надежность такой системы определяют по формуле:

P = [1 - (1-pi1)(l - p21)...(l - pk1)][l - (l - p12)(1-p22)...(l - *pn)]*...

...[1- (1-pm)(1-p2n)...(1-pkn)]. (28.)

При p_i j = pj

$$P = [1 - (1 - p1)^k][1- (1 - p2)^k]...[1- (1 - pn)^k]. \quad (29.)$$

Если p_i *j = p, то*

$$P = [1 - (1 - p)^k]^n . \quad (30.)$$

Анализ последних двух схем показывает, что структурная схема с поэлементным резервированием имеет более высокую надежность по сравнению с поканальным резервированием.

Тема №6. Логико-графические методы анализа надежности и риска

Учебные цели занятия:

- построить дерево неисправностей для случая первичных отказов;

- построить дерево неисправностей для случая вторичных отказов;

- построение «дерева отказов»;

- построение «дерева событий».

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

Модели процессов в человеко-машинных системах должны отражать процесс появления отдельных предпосылок и развития их в причинную цепь происшествия в виде соответствующих диаграмм причинно-следственных связей - диаграмм влияния. Такие диаграммы являются формализованными представлениями моделируемых объектов, процессов, целей, свойств в виде множества графических символов (узлов, вершин) и отношений - предполагаемых или реальных связей между ними. Широкое распространение получили диаграммы в форме *потоковых графов* (графов состояний и переходов), *деревьев событий* (целей, свойств) и *функциональных сетей* различного предназначения и структуры. В последние десятилетия интенсивно разрабатываются диаграммы влияния из класса семантических или функциональных *сетей,* которые являются графами, но с дополнительной информацией, содержащихся в их узлах и дугах (ребрах). Достоинства таких сетей - возможность объединения логических и графических способов представления исследуемых процессов, учет стохастичности информации, выраженной узлами и дугами, доступность для моделирования циклических и многократно наблюдаемых событий, наибольшие (по сравнению с другими типами диаграмм) логические возможности.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Процедура анализа дерева отказов

Опасности носят потенциальный, т.е. скрытый характер. Условия реализации потенциальной опасности называются причинами.

Опасность - следствие некоторой причины или группы причин, которая, в свою очередь, является следствием другой причины, т.е. причины и следствия образуют иерархические структуры или системы, так называемые: «дерево событий», «дерево причин», «дерево отказа» или «дерево опасности», «дерево неисправностей».

Процедура построения дерева неисправностей (отказов) включает, как правило, следующие этапы:

1. Определение нежелательного (завершающего) события в рассматриваемой системе.
2. Тщательное изучение возможного поведения и предполагаемого режима использования системы.
3. Определение функциональных свойств событий более высокого уровня для выявления причин тех или иных неисправностей системы и проведение более глубокого анализа поведения системы с целью выявления логической взаимосвязи событий более низкого уровня, способных привести к отказу системы.
4. Построение дерева неисправностей (отказов) для логически связанных событий на входе. Эти события должны определяться в терминах идентифицируемых независимых первичных отказов. Чтобы получить

количественные результаты для завершающего нежелательного события дерева, необходимо задать вероятность отказа, коэффициент неготовности, интенсивность отказов, интенсивность восстановлений и другие показатели, характеризующие первичные события, при условии, что события дерева неисправностей не являются избыточными.

Более строгий и систематический анализ предусматривает выполнение таких процедур, как (1) определение границ системы, (2) построение дерева неисправностей, (3) качественная оценка, (4) количественная оценка.

Обычно система изображается в виде блок-схемы, показывающей все функциональные взаимосвязи и элементы. При построении дерева неисправностей исключительно важную роль приобретает правильное задание граничных условий, которые не следует путать с физическими границами системы.

Одним из основных требований, предъявляемых к граничным условиям, является задание завершающего нежелательного события, установление которого требует особой тщательности, поскольку именно для него как для основного отказа системы строится дерево неисправностей. Кроме того, чтобы проводимый анализ был понятен всем заинтересованным лицам, исследователь обязан составить перечень всех допущений, принимаемых при определении системы и построении дерева неисправностей.

Анализ дерева происшествий связан с определением возможности появления или не появления головного события - происшествия конкретного типа. Данные условия устанавливаются путем выделения из всего массива исходных предпосылок двух подмножеств, реализация которых либо приводит, либо не приводит к возникновению головного события. Такие подмножества делятся на *аварийные сочетания* предпосылок, образующие в совокупности с условиями их появления каналы прохождения сигнала до этого события, и *отсечные сочетания*, исключающие условия формирования таких путей к головному событию. Самым удобным способом выявления условий возникновения и предупреждения происшествий является выделение из таких подмножеств так называемых «*минимальных сочетаний событий*», т.е. тех из них, появление которых минимально необходимо и достаточно для достижения желаемого результата.

Построение дерева отказов

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

Основной целью построения дерева неисправностей является символическое представление существующих в системе условий, способных вызвать ее отказ. Кроме того, построенное дерево позволяет показать в явном

виде слабые места системы и является наглядным средством представления и обоснования принимаемых решений, а также средством исследования компромиссных соотношений или установления степени соответствия конструкции системы заданным требованиям.

Выделяют пять типов вершин дерева отказов (ДО):

- вершины, отображающие первичные отказы;
- вершины, отображающие результирующие или вторичные отказы;
- вершины, отображающие локальные отказы, которые не влияют на возникновение других отказов;
- вершины, соответствующие операции логического объединения случайных событий (типа "ИЛИ ");
- вершины, соответствующие операции логического произведения случайных событий (типа "И").

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

Структура «дерева отказа» включает одно головное событие (аварию, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих нижестоящих событии (ошибок, отказов, неблагоприятных внешний воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в узлах «деревьев» используются знаки *«И»* и *«ИЛИ»*. Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак *«ИЛИ»* означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

Обычно предполагается, что исследователь, прежде чем приступить к построению дерева неисправностей, тщательно изучает систему. Поэтому описание системы должно быть частью документации, составленной в ходе такого изучения.

В зависимости от конкретных целей анализа дерева неисправностей для построения последнего специалисты по надежности обычно используют либо метод первичных отказов, либо метод вторичных отказов, либо метод инициированных отказов.

Метод первичных, отказов**.** Отказ элемента называется *первичным,* если он происходит в расчетных условиях функционирования системы. Построение дерева неисправностей на основе учета лишь первичных отказов не представляет большой сложности, так как дерево строится только до той точки, где идентифицируемые первичные отказы элементов вызывают отказ системы. Для иллюстрации этого метода рассмотрим следующий пример.

Задание. Требуется построить дерево неисправностей для простой системы — комнаты, в которой имеются выключатель и электрическая лампочка. Считается, что отказ выключателя состоит лишь в том, что он не замыкается, а завершающим событием является отсутствие освещения в комнате.

Метод вторичных отказов. Чтобы анализ охватывал и вторичные отказы, 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 окружающих условий или чрезмерными нагрузками на элементы системы в процессе эксплуатации.

Метод инициированных отказов**.** Подобные отказы возникают при правильном использовании элемента, но в неустановленное время или в неположенном месте. Другими словами, инициированные отказы - это сбои операций координации событий на различных уровнях дерева неисправностей: от первичных отказов до завершающего события (нежелательного либо конечного).

Задание. Гибель человека от электрического тока может произойти при включении его тела в электрическую цепь с достаточной для этого силой тока. Следовательно, чтобы произошел несчастный случай (головное событие «А»), необходимо одновременное существование трех условий (рис. 7).

Условие «Б» - наличие потенциально высокого напряжения на корпусе электрической установки.

Событие «В» - означает появление человека на токопроводящем основании, соединенном с землей.

Событие «Г» - касание телом человека корпуса электроустановки.

В свою очередь, событие «Б» может быть следствием любого из двух событий - предпосылок «Д» и «Е», где «Д» - понижение сопротивления изоляции токоведущих частей, а событие «Е» - касание ими корпуса установки.

Событие «В» также обуславливается двумя предпосылками: «Ж» - вступление человека на токопроводящее основание и «З» - касание его туловищем заземленных элементов помещения.

Событие «Г» является результатом появления одной из трех предпосылок: «И» - потребность ремонта, «К» - потребность техобслуживания и «Л» - использование электроустановки по назначению, или нормальная эксплуатация установки.

Анализ дерева опасности состоит в выявлении условий, минимально необходимых и достаточных для возникновения или невозникновения головного события «А».

Аналитически выражение условия реализации данного несчастного случая имеет вид:

$$P(А) = P(Б)*P(В)*P(Г) = [P(Д)+P(Е)]*[P(Ж)+P(З)]*[P(И)+P(К)+P(Л)].$$

Преимущества и недостатки метода дерева отказов

Данный метод, как и любой другой, обладает определенными достоинствами и недостатками. Так, например, метод дает представление о поведении системы, но требует от специалистов по надежности глубокого понимания системы и конкретного рассмотрения каждый раз только одного определенного отказа; помогает дедуктивно выявлять отказы; дает конструкторам, пользователям и руководителям возможность наглядного обоснования конструктивных изменений и анализа компромиссных решений; позволяет выполнять количественный и качественный анализ надежности; облегчает анализ надежности сложных систем. Вместе с тем реализация метода требует значительных затрат средств и времени. Кроме того, полученные результаты трудно проверить и трудно учесть состояния частичного отказа элементов, поскольку при использовании метода, как правило, считают, что система находится либо в исправном состоянии, либо в состоянии отказа. Существенные трудности возникают и при получении 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.

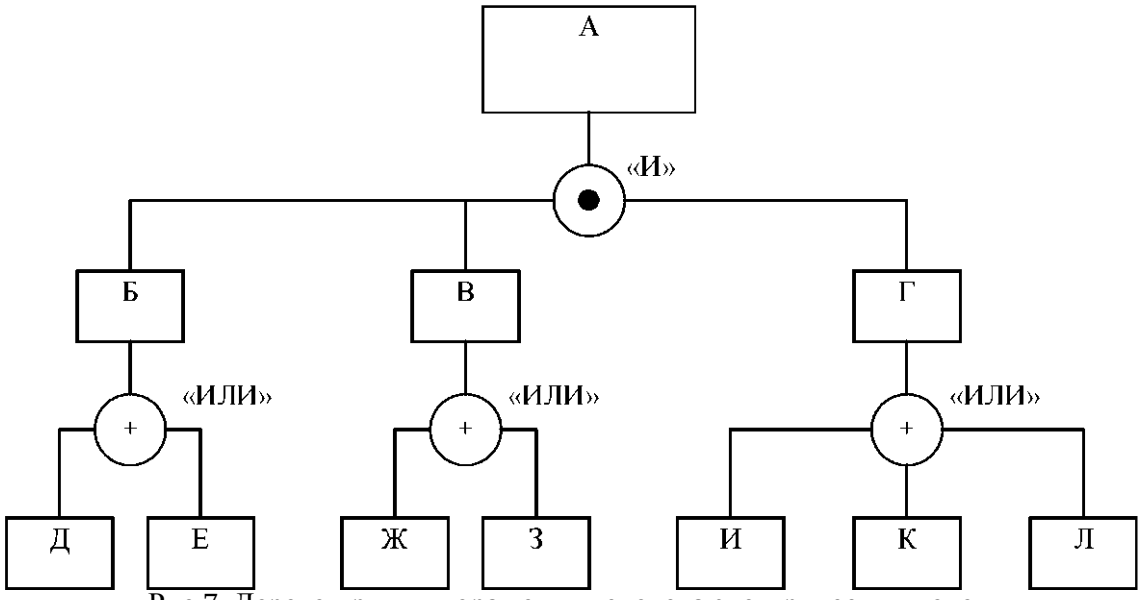


Рис.7. Дерево причин поражения человека электрическим током

Построение «дерева событий»

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

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

Тема № 7. Расчет численной оценки риска чрезвычайного происшествия технической системы

Учебные цели занятия:

1.Рассчитать риск чрезвычайного происшествия технической системы.

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

Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, выполнения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

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

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

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

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

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

Для полной группы событий $\Sigma P\{E\} = 1$. (31.)

Для равновозможных событий ($P\{E_i\} = p$, $i = 1,2,...,n$), образующих полную группу событий, вероятность равна $p = 1/n$. (32.)

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

$$P\{E\} = 1 - P\{-E\}. \quad (33.)$$

На практике пользуются формулой объективной вероятности

$$P\{E\} = n_E/n, \quad (34.)$$

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

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

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

то $P\{E1\ E2\} = P\{E1\}*P\{E2\}$. (35.)

Применяя правила теории вероятностей, находят вероятность нежелательного события в виде функции опасности $p = F_p(p_1,p_2,\ldots,p_n)$ (36.)

Рекомендации по выбору методов анализа риска для различных видов деятельности и этапов функционирования опасного производственного объекта представлены в табл. 2.

В табл. 2 приняты следующие обозначения:

0 — наименее подходящий метод анализа;

+ — рекомендуемый метод;

++ — наиболее подходящий метод.

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

Рекомендации по выбору методов анализа риска Таблица 2.

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

Задание 1. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 3-х подсистем с

независимыми отказами. Вероятности отказов подсистем: $P_1 = 10^{-3}$, $P_2 = 10^{-4}$, $P_3 = 10^{-2}$, ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 = 1010^6$ руб., U2 = 50 10^6 руб., U3 = 510^6 руб.

ЗАДАНИЕ 2. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 5-и подсистем с независимыми равновозможными отказами $P = 10^{-2}$. Ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 = 5\ 10^6$, $U_2 = 1010^6$, $U_3 = 20\ 10^6$, $U_4 = 1510^6$, U5 = 25 10^6.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Список рекомендуемой литературы:

Основная:

1. Алымов В.Т., ТарасоваН.П. Техногенный риск: анализ и оценка М.: Академкнига, 2004. 157 с.
2. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности. М.: Высш. шк., 1999 – 448с.
3. ВоскобоевВ.Ф., Слепушкин С.Б.. Надежность технических систем и техногенный риск. Учеб. пособие. Новогорск: Академия гражданской защиты, 1999, 147 с.
4. Ветошкин А.Г.. Надежность и безопасность технических систем. Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003.
5. Ветошкин А.Г.. Надежность технических систем и техногенный риск. Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003.
6. М.И.Фалеев. Надежность технических систем и техногенный риск. Уч. пособие.М.: Деловой Экспресс, 2002г.
7. ОстрейковскийВ.А. Теория надежности. Учеб. пособие для вузов М.: Высш. шк., 2003. - 463с.

Дополнительная:

8. М.В. Графкина, В.А. Михайлов, Б.Н. Нюнин. Безопасность жизнедеятельности. М:ИД Проспект, 2008- 608 с.
9. Лобачев А.И. Безопасность жизнедеятельности. М.: Юрайт, 2006.
10. Хван Т.А., Хван П.А. Безопасность жизнедеятельности. Ростов-н/Д.: Феникс, 2001.
11. Надежность технических систем и техногенный риск. Учебное пособие / Под ред. М. И. Фалеева. М.: Деловой экспрес, 2002.
12. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие / Под ред. Л. А. Муравья. М.: ЮНИТИ0-ДАНА, 2002.
13. Учебно-методические пособия по дисциплине «БЖД»: Безопасность и защита населения в условиях ЧС природного и техногенного характера. Часть I и II
    a. авторы-составители: Д.Д.Костович., Ю.А.Цирулик, Е.В.Дяговец;.г.

Тирасполь,2006г
14. Учебно-методические пособия по дисциплине «БЖД»: Опасности технических систем и защита от них. Составитель Огнева Т.В., Дяговец Е.В.; г. Тирасполь, 2006 г
15. Действующие Законы и НТД в области БЖД.

Интернет-ресурсы:

1. http://ele74197079.narod.ru: «Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины БЖД и ОТ»;
2. сайты:

- **МЧС РОССИИ: http://www.mchs.gov.ru/**
- **Видеотека МЧС: http://www.kbzhd.ru/fotovideo/video.php**
- **Мультимедиа учебники: http://www.kbzhd.ru/library/**
- **КУЛЬПИНОВ: http://www.gr-obor.narod.ru/**
- **БЕЗОПАСНОСТЬ. ОБРАЗОВАНИЕ. ЧЕЛОВЕК: http://www.bezopasnost.edu66.ru/cont.php?rid=2&id=7**
- **ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ: http://www.katastrof.com.ua/**
- **Для любителей учиться: http://www.alleng.ru/index.htm**

Для эффективного усвоения материала и качественного выполнения практических работ используются наглядные пособия – слайды и раздаточный материал по тематике соответствующих практических работ.

9.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Единичные показатели надежности: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.
2. Виды надежности.
3. Критерии и количественные характеристики надежности.
4. Критерии надежности невосстанавливаемых объектов.
5. Критерии надежности восстанавливаемых объектов.
6. Источники и причины изменения начальных параметров технической системы.
7. Процессы, снижающие работоспособность системы.
8. Роль внешних факторов, воздействующих на формирование отказов технических систем.
9. Характеристики отказов.
10. Виды отказов и причинные связи.
11. Теоретические законы распределения отказов
12. Основные законы распределения, используемые в теории надежности.
13. Резервирование.
14. Виды резервирования.
15. Способы структурного резервирования.

16. Последовательность расчета систем надежности технических систем по надежности их элементов.
17. Расчет надежности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур.
18. Система с последовательным соединением элементов.
19. Система с параллельным соединением элементов.
20. Способы преобразования сложных структур.
21. Системный подход к анализу возможных отказов: понятие, назначение, цели и этапы, порядок, границы исследования.
22. Выявление основных опасностей на ранних стадиях проектировании.
23. Исследования в предпусковой период.
24. Исследования действующих систем.
25. Регистрация результатов исследования.
26. Содержание информационного отчета по безопасности процесса.
27. Классификация аварий и катастроф; статистика аварий и катастроф.
28. Причины аварийности на производстве.
29. Прогнозирование аварий и катастроф.
30. Оценка надежности человека как звена сложной технической системы.
31. Организация и проведение экспертизы технических систем.
32. Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем.
33. Понятие системного анализа.
34. Система «человек-машина-среда» (ЧМС). Компоненты, иерархия и жизненные циклы системы «человек- машина-среда».
35. Система управления опасностями (СУО).
36. Основные положения теории риска. Понятие техногенного риска.
37. Приемлемый (допустимый) риск.
38. Развитие риска на промышленных объектах.
39. Основы методологии анализа и управления риском:
40. Анализ и оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.
41. Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.
42. Качественный анализ опасностей.
43. Количественная оценка риска.
44. Конструктивные способы обеспечения надежности.
45. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе изготовления.
46. Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации.
47. Пути повышения надежности сложных технических систем при эксплуатации.
48. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности техники при эксплуатации.

49. Основы государственной и международной политики в сфере обеспечения надежности технических систем и техногенного риска.
50. Построить дерево неисправностей для случая первичных отказов.
51. Построить дерево неисправностей для случая вторичных отказов.
52. Построить «дерево отказов».
53. Построить «дерево событий».
54. Правовые аспекты анализа риска и управления промышленной безопасностью.
55. Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий.

10.ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Единичные показатели надежности: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.
2. Виды надежности.
3. Критерии и количественные характеристики надежности.
4. Процессы, снижающие работоспособность системы.
5. Роль внешних факторов, воздействующих на формирование отказов технических систем.
6. Характеристики отказов.
7. Виды отказов и причинные связи.
8. Теоретические законы распределения отказов
9. Основные законы распределения, используемые в теории надежности.
10. Резервирование.
11. Виды резервирования.
12. Способы структурного резервирования.
13. Последовательность расчета систем надежности технических систем по надежности их элементов.
14. Расчет надежности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур.
15. Система с последовательным соединением элементов.
16. Система с параллельным соединением элементов.
17. Способы преобразования сложных структур.
18. Системный подход к анализу возможных отказов: понятие, назначение, цели и этапы, порядок, границы исследования.
19. Выявление основных опасностей на ранних стадиях проектировании.
20. Исследования в предпусковой период.
21. Исследования действующих систем.
22. Регистрация результатов исследования.
23. Содержание информационного отчета по безопасности процесса.
24. Оценка надежности человека как звена сложной технической системы.

25. Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем.
26. Понятие системного анализа.
27. Система «человек-машина-среда» (ЧМС). Компоненты, иерархия и жизненные циклы системы «человек- машина-среда».
28. Система управления опасностями (СУО).
29. Основные положения теории риска. Понятие техногенного риска.
30. Приемлемый (допустимый) риск.
31. Развитие риска на промышленных объектах.
32. Основы методологии анализа и управления риском.
33. Анализ и оценка риска: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.
34. Управление риском: понятие и место в обеспечении безопасности технических систем.
35. Качественный анализ опасностей.
36. Количественная оценка риска.
37. Логико-графические методы анализа надежности и риска.
38. Конструктивные способы обеспечения надежности.
39. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе изготовления.
40. Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации.
41. Пути повышения надежности сложных технических систем при эксплуатации.
42. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности техники при эксплуатации.
43. Основы государственной и международной политики в сфере обеспечения надежности технических систем и техногенного риска.
44. Правовые аспекты анализа риска и управления промышленной безопасностью.
45. Принципы оценки экономического ущерба от промышленных аварий.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АОП - анализ ошибок персонала
АОМПО - анализ опасностей методом потенциальных отклонений
АПО - анализ последствий отказов
АОДП - анализ опасностей деревом причин потенциального чепе
АОМПО- Анализ опасностей методом потенциальных отклонений
АХОВ - аварийные химически опасные вещества
ВУЗ – высшее учебное заведение
НТС и ТР - надежность технических систем и техногенный
ПСА- причинно-следственный анализ
ПАО - Предварительный анализ опасностей
СУО - система управления опасностями
ЧМС - система «человек - машина- среда»
ЧС - чрезвычайная ситуация

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Основные понятия, термины и определения

Авария — опасное происшествие в технической системе, на промышленном объекте или на транспорте, создающее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению производственных помещений, сооружений, серьезному повреждению или уничтожению оборудования, механизмов, транспортных средств, сырья и готовой продукции, к нарушению производственного процесса и нанесению ущерба окружающей природной среде.

Авария запроектная — авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности, исключая единичный отказ, реализацией ошибочных решений персонала, которые могут привести к тяжелым последствиям.

Авария проектная — авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие, с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или с учетом одной, независимой от исходного события ошибки персонала, ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

Аварийная ситуация — состояние технической системы, объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации и не перешедшее в аварию.

Анализ безопасности — анализ и расчет опасностей, связанных с осуществлением предполагаемой деятельности.

Анализ опасностей — выявление нежелательных событий, влекущих за собой реализацию опасности, анализ механизмов возникновения подобных ситуаций и, как правило, оценка масштаба, величины и вероятности любого события, способного оказать поражающее действие.

Анализ риска — процесс выявления (идентификации) и оценки опасностей для отдельных лиц, групп населения, объектов, окружающей природной среды и других объектов рассмотрения.

Безопасность — состояние защищенности человека, общества, окружающей среды от чрезмерной опасности; свойство реальных процессов и систем, содержащих источники угрозы и их возможные жертвы, сохранять состояние с приемлемой возможностью причиненного ущерба от происшествий; состояние объектов и систем в условиях приемлемого риска; свойство системы «человек — среда обитания» сохранять условия взаимодействия с минимальной возможностью возникновения ущерба людским, природным и материальным ресурсам.

Безопасная эксплуатация — соблюдение установленных проектом минимальных условий по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и регламенту технического обслуживания систем или элементов (важных для безопасности), при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации и (или) критериев безопасности.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) — состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

Безопасность населения в ЧС — состояние защищенности жизни и здоровья людей, их имущества и среды обитания человека от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

Взрыв — быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести ущерб хозяйственным и иным объектам и стать источником ЧС.

Вредный фактор — негативный фактор, воздействие которого на человека приводит к заболеванию.

Выбор площадки — процесс выбора подходящей площадки для промышленного предприятия, включая соответствующую оценку и определение критериев, закладываемых в основу проекта.

Добровольная опасность — опасность, наличие которой принимается добровольно. Примеры добровольных опасностей: аварии промышленных предприятий для персонала, занятия горными лыжами или дельтапланеризмом, курение, вождение автомобиля и т. п.

Жизнедеятельность — способ существования или повседневная деятельность человека.

Идентификация опасности — процесс выявления и признания, что опасность существует, и определения ее характеристик.

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

Источник чрезвычайной ситуации — опасное природное явление или антропогенное происшествие, широко распространенное заболевание людей, животных и растений, а также современное средство поражения, в результате применения которого возникла или может возникнуть чрезвычайная ситуация.

Исходные события — единичный отказ в системах, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной

эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и (или) условий безопасной эксплуатации.

Защита от чрезвычайных ситуаций — комплекс организационных, экономических, инженерно-технических, природоохранных и специальных мероприятий, направленных на предупреждение возникновения чрезвычайной ситуации, преодоление вызванных ею опасностей и их ликвидацию с целью сохранения жизни и здоровья людей, снижения ущерба народному хозяйству, личному имуществу граждан и окружающей природной среде.

Катастрофа — крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и разрушения или уничтожение объектов и других материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей среде.

Надежность — свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования. Надежность — комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать ряд свойств (в отдельности или в определенном сочетании), основными из которых являются следующие: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость, устойчивоспособность, режимная управляемость и живучесть.

Негативная ситуация — состояние системы «человек — среда обитания», характеризующееся отклонением от условий безопасного взаимодействия.

Неконтролируемая реакция — химическая реакция, протекающая либо в условиях промышленного предприятия и не предусмотренная технологией, либо протекающая в технологической установке в режимах, не позволяющих управлять параметрами процесса.

Необнаруженный отказ — отказ системы (элемента), который не проявляется в момент своего возникновения при нормальной эксплуатации и не выявляется предусмотренными средствами контроля в соответствии с регламентом техобслуживания и проверок.

Обеспечение промышленной безопасности или управление риском — системный подход к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде; комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий по предотвращению промышленных аварий или катастроф и уменьшению ущерба от обусловленных ими последствий.

Окружающая среда — все объекты и условия, в которых протекает и с которыми связана жизнь и деятельность человека.

Окружающая природная среда — естественная среда обитания человека, биосфера, служащая условием, средством и местом жизни человека и других живых организмов; в широком смысле включает природу как систему естественных экологических систем и окружающую среду как ту часть

естественной среды, которая преобразована в результате деятельности человека.

Особо опасный производственный (промышленный) объект — участок, установка, цех, хранилище, склад, станция или другое производство, на котором единовременно используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют взрывопожароопасные или опасные химические вещества в количестве, равном или превышающем определенное пороговое значение.

Опасный производственный (промышленный) объект — объект, производство, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют пожаровзрывоопасные и (или) опасные химические вещества, создающие реальную угрозу возникновения аварии.

Опасное химическое вещество — химическое вещество природного или искусственного происхождения, применяемое в промышленности, сельском хозяйстве и в быту, оказывающее при превышении естественного уровня его содержания в окружающей природной среде вредное воздействие на человека, сельскохозяйственных животных и растения, элементы окружающей природной среды.

Опасность — негативное свойство системы «человек — среда обитания», способное причинять ущерб и обусловленное энергетическим состоянием среды и действиями человека; ситуация (в природе или техносфере), в которой возможно возникновение явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на окружающую человека среду.

Опасность в чрезвычайной ситуации — состояние, при котором создалась или возможна угроза возникновения явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб их имуществу, государственной и другим видам собственности, а также негативно воздействовать на окружающую природную среду в зоне ЧС.

Опасные грузы — вещества, материалы, изделия и отходы производства, которые в силу своих физических, химических и биологических свойств могут создать угрозу жизни и здоровью людей, вызвать загрязнение окружающей среды, повреждение и уничтожение транспортных средств и иного имущества и объектов

Опасное природное явление — событие природного происхождения или состояние элементов природной среды, которое по интенсивности, масштабу распространения и продолжительности может оказать негативное воздействие на жизнедеятельность людей, хозяйственные и иные объекты, окружающую природную среду.

Опасный фактор — негативный фактор, воздействие которого на человека приводит к травме или летальному исходу.

Отказ (неполадка) — событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния оборудования, объекта.

Отказ по общей причине — неспособность ряда устройств или узлов выполнять свои функции в результате единичного конкретного события или причины. К таковым обычно относят недостаток проекта, погрешность в изготовлении, ошибки во время эксплуатации и технического обслуживания, природное явление, вызванное деятельностью человека событие, насыщение сигналов или непреднамеренные нарастающие последствия от любой другой операции, или отказа на технологической установке, или от изменения условий окружающей среды.

Отравление — результат воздействия химического или другого ядовитого вещества на человека, приведший к заболеванию или летальному исходу.

Оценка безопасности — сравнение результатов анализа безопасности с приемлемыми критериями, их оценка и окончательные заключения по пригодности оцениваемой системы.

Оценка риска — процесс, используемый для определения степени риска анализируемой опасности для здоровья человека, имущества или окружающей среды. Оценка риска включает анализ частоты, анализ последствий и их сочетание; идентификация опасности и возможных ее источников, исследование механизма их возникновения, оценка вероятности возникновения идентифицированных опасных событий и их последствий, а также суммирование вероятностей возникновения опасности и ее последствий для всех возможных вариантов развития ситуации.

Ошибка персонала — единичное неправильное действие при управлении техническими системами или единичный пропуск правильного действия, важных для безопасности.

Ошибочное решение — неправильное, непреднамеренное выполнение или невыполнение ряда последовательных действий из-за неверной оценки протекающих технологических процессов.

Персонал — все лица, работающие с техническими системами постоянно или временно.

Площадка — участок, на котором находится промышленное предприятие, имеющий границу и находящийся под эффективным контролем административного руководства промышленного предприятия (организации-исполнителя).

Показатель риска возникновения аварии — измеренная или рассчитанная величина, количественно характеризующая вероятность или частоту возникновения аварии.

Поражающее воздействие источника ЧС — негативное влияние различных факторов источника ЧС на жизнь и здоровье людей, сельскохозяйственных животных и растений, хозяйственные и др. объекты, окружающую природную среду.

Поражающий фактор источника ЧС — составляющая опасного явления или процесса физического, химического или биологического (бактериального) характера, вызываемого источником ЧС и приводящего к

поражению людей, сельскохозяйственных животных и растений, хозяйственных и иных объектов, элементов окружающей природной среды.

Пожар — неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением ценностей и создающий опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных, растений и окружающей Среды.

Пожарная безопасность — состояние объекта народного хозяйства или иного назначения, при котором путем выполнения правовых норм, противопожарных и инженерно-технических мероприятий исключается или снижается вероятность возникновения и развития пожара, воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Потенциально опасное вещество — вещество, которое вследствие своих физических, химических, биологических или токсикологических свойств предопределяет собой опасность для жизни и здоровья людей.

Пределы безопасности — пределы изменения процесса, в которых, как показано, эксплуатация промышленного предприятия является безопасной.

Происшествие — событие, состоящее из воздействия опасного фактора с причинением ущерба людским, природным и материальным ресурсам.

Промышленная безопасность— состояние, при котором путем соблюдения правовых норм, экономических, инженерно-технических и технологических требований, а также проведения соответствующих мероприятий достигается предотвращение нарушений технологического процесса и техники безопасности, максимальное снижение вероятности возникновения аварийной ситуации на промышленных объектах и транспорте или уменьшение ущерба; область человеческой деятельности по предотвращению аварий промышленных предприятий и уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций, обусловленных такими авариями. Основные направления деятельности — обеспечение безопасности человека и промышленного предприятия в техносфере и экологической безопасности.

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

Промышленный объект Российской Федерации, подлежащий декларированию безопасности — субъект предпринимательской деятельности (организация), имеющий в своем составе одно или несколько производств повышенной опасности, расположенных на единой площадке. Такие производства в дальнейшем называются «особо опасные».

Промышленное предприятие — совокупность технологических установок для выпуска определенных продуктов или продукции, размещаемых на определенной площадке.

Последствия аварии — возникшая в результате аварии обстановка, наносящая ущерб за счет превышения установленных пределов воздействия на персонал, население и окружающую среду.

Проектные пределы — значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) в целом, установленные в проекте для нормальной эксплуатации, аварийных ситуаций и аварий.

Риск, или степень риска, — это сочетание частоты (или вероятности) и последствий определенного опасного события. Понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события; реализации опасностей определенного класса. Риск может быть определен как частота (размерность — обратное время) или как вероятность возникновения одного события при наступлении другого события (безразмерная величина, лежащая в пределах от 0 до 1).

Риск возникновения чрезвычайной ситуации (риск ЧС) — вероятность или частота возникновения ЧС.

Риск индивидуальный — вероятность реализации потенциальных опасностей при возникновении опасных ситуаций для одного человека или социальной группы.

Риск приемлемый — риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений. Риск эксплуатации промышленного объекта является приемлемым, если его величина настолько незначительна, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск.

Риск социальный — характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций, а также различного рода явлений в обществе, социально-политических преобразований, снижающих качество жизни людей. По существу — это риск для группы или сообщества людей.

Риск технический — комплексный показатель надежности элементов техносферы, который выражает вероятность возникновения аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Риск экологический — вероятность возникновения экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного, техногенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия.

Риск экономический — вероятность экономических потерь в будущем; соотношение пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности.

Рискующие — человек или социальная группа, на которых может быть оказано воздействие определенного вида при реализации определенной опасности или определенных опасностей, т. е. для которых индивидуальный

или социальный риск не является нулевым или же достигает определенного уровня.

Системы (элементы) безопасности — системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности.

Системы экологической безопасности — совокупность законодательных, технических, медицинских и биологических мероприятий, направленных на поддержание равновесия между биосферой и антропогенными, техногенными, а также стихийными внешними нагрузками.

Смертность— число погибших в определенных условиях.

Среда обитания — окружающая человека среда, обусловленная в данный момент совокупностью факторов (физических, химических, биологических, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность человека, его здоровье и потомство.

Стихийное бедствие — разрушительное природное и (или) природно- антропогенное явление, в результате которого может возникнуть или возникает угроза жизни и здоровью людей, происходит разрушение или уничтожение материальных ценностей и элементов окружающей природной среды.

Технологическая катастрофа — катастрофа, возникшая вследствие нарушения технологического процесса и повлекшая за собой гибель людей и угрозу здоровью персонала, нанесшая существенный прямой или косвенный ущерб материальным ценностям и окружающей природной среде

Технология — совокупность приемов и методов обработки в производственных процессах; способ производства и (или) переработки продукции в совокупности с приборно-аппаратным оформлением.

Технология с «внутренне присущей безопасностью» — технология, предусматривающая подавление опасностей и (или) существенное уменьшение последствий недопустимых отклонений от технологического регламента на основе механизмов, базирующихся на фундаментальных законах природы, а не путем включения специальных систем обеспечения безопасности.

Техногенная чрезвычайная ситуация — состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Требования промышленной безопасности — условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», других федеральных законах и иных нормативных правовых актах РФ, а также в нормативных технических

документах, которые принимаются в установленном порядке и соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность.

Угроза от чрезвычайной ситуации (угроза ЧС) — состояние, при котором создается опасность для населения, его имущества и иных видов собственности и окружающей природной среды в зоне ЧС.

Управление риском — часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба материальным ценностям и окружающей природной среде.

Химическая авария — авария, сопровождающаяся утечкой или выбросом опасных химических веществ из технологического оборудования или поврежденной тары, способная привести к гибели или заражению людей, сельскохозяйственных животных и растений, либо загрязнению химическими веществами окружающей природной среды в опасных для людей, животных и растений концентрациях.

Химическая безопасность — состояние, при котором путем соблюдения правовых норм и санитарно-гигиенических правил, выполнения инженерно-технических и технологических требований, а также проведения соответствующих организационных и специальных мероприятий исключаются условия для химического заражения или поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений, загрязнения окружающей природной среды опасными химическими веществами в случае возникновения химической аварии.

Химическая опасность — опасность, связанная с химическими веществами или процессами. Основные формы проявления химических опасностей — пожар, взрыв, токсическое поражение.

Химическое заражение — распространение опасных химических веществ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени.

Чрезвычайное обстоятельство — негативное событие, вызванное источником чрезвычайной ситуации либо массовыми беспорядками и приведшее к гибели людей или угрозе их жизни и здоровью, ущербу государственной и другим видам собственности, личному имуществу граждан и окружающей природной среде на определенной территории.

Человеческий фактор — комплекс психофизиологических особенностей человека (восприятие информации, принятие решений, психологические установки и т. п.), играющий важную роль в промышленной безопасности.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного производственного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей

или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Экологическая безопасность — состояние защищенности жизненно важных экологических интересов личности, общества, природы и государства от реальных и потенциальных угроз, создаваемых антропогенным, техногенным или естественным воздействием на окружающую среду.

Эксплуатация — вся деятельность, направленная на достижение безопасным образом цели, для которой было построено промышленное предприятие, включая техническое обслуживание, инспектирование во время эксплуатации и другую связанную с этим деятельность.

Эксплуатационные пределы — значения параметров и характеристик состояния систем (элементов), заданные проектом для нормальной (безопасной) эксплуатации.